

INSTITUTUL POLITEHNIC IASI  
FACULTATEA DE MECANICA

Conf. dr. ing. Ion Hopulele

Şef lucrări dr. ing. Ioan Alexandru    Şef lucrări ing. Dan Găluşcă

TRATAMENTE TERMICE  
SI  
TERMOCHIMICE  
Vol. II

PENTRU UZUL STUDENTILOR

1984

INSTITUTUL POLITEHNIC IASI  
FACULTATEA DE MECANICA

Conf.dr.ing.Ion Hopulele

Sef lucr.dr.ing.Ioan Alexandru      Sef lucr.ing.Dan Gălușcă

*Jordache Violet.*

TRATAMENTE

TERMICE

SI

TERMOCHIMICE

Vol.II

*552 77*

1984

"Fierul e izvorul tuturor artelor folositoare, și un popor care știe a topi fierul și de a face din el tot ce e necesar pentru corăbii de o mărime considerabilă, de la cui pînă la ancoră, nu poate să fi trăit într-o stare de barbarie, precum se admite în genere".

Mihai Eminescu

Opere, vol. XIV, Editura Academiei R.S.R.

1983, pg. 936



## Cap.V. TRATAMENTUL TERMIC AL OTELURILOR ALIATE

Oțelurile aliate sînt oțeluri care pe lîngă Fe și C conțin, introduse în mod voit, și alte elemente chimice, numite elemente de aliere. Oțelurile aliate posedă proprietăți fizico-mecanice superioare oțelurilor carbon.

Influența favorabilă a elementelor de aliere asupra proprietăților oțelurilor se explică prin variația compoziției chimice a fazelor, prin deplasarea punctelor critice ale transformărilor structurale și prin modificarea structurii.

Prezența elementelor de aliere modifică condițiile de tratament termic în funcție de natura, numărul și cantitatea lor.

Elementele de aliere, sînt în general metale cristalizate în sistemul cubic cu volum centrat sau fețe centrate (Al, Ti, V, Cr, Mn, Ni, Co, Cu, Mo, W, Nb); cu excepția cîtorva cristalizate în sistem hexagonal (Zr, Be, Ti) sau cubic diamant (Si).

Elementele de aliere introduse în oțel formează cu fierul soluții solide de substituție sau de interstiție, în funcție de razele lor atomice. Deasemeni unele se combină chimic cu carbonul formînd carburi (Mn, Cr, W, V, Mo, Ti, Zr, Nb, Ta).

În prezența azotului, elementele de aliere pot forma nitruri (Al, Cr, Ti, V, Mo, Mn).

Structurile ce se pot forma în oțelurile aliate sînt funcție de conținutul de carbon, de natura și numărul elementelor de aliere. Ele pot fi: perlitice, feritice, martensitice, ledeburitice și austenitice.

### 5.1. Influența elementelor de aliere asupra tratamentelor termice ale oțelurilor

Influența elementelor de aliere asupra tratamentului termic se manifestă prin modificarea punctelor critice, prin modificarea



transformărilor perlitice și martensitice, călibilității, fragilității de revenire și modificarea tendinței de creștere a graunțului de austenită la încălzire.

#### 5.1.1. Influența elementelor de aliere asupra omogenității austenitei

La încălzirea oțelurilor aliate deasupra punctelor critice, au loc transformări de fază al căror rezultat final este formarea austenitei. Temperatura de formare a austenitei depinde de natura elementelor de aliere. Astfel elementele gamagene (Ni, Mn, Cu, N, Co, As, Pt) micșorează temperatura de formare a austenitei, iar elementele alfa-gene (Cr, Mo, Si, Al, V, W, Ti) măresc temperatura de formare a austenitei. Temperatura de formare a austenitei depinde și de viteza de încălzire; crește odată cu creșterea vitezei de încălzire a oțelurilor.

Viteza de formare a austenitei este influențată pregnant de elementele de aliere. Elementele care măresc stabilitatea feritei micșorează viteza de formare a austenitei.

În oțelurile aliate omogenizarea austenit are loc mai greu și la temperaturi mai mari decât în oțelurile carbon. Omogenizarea austenitei se produce cu atât mai greu cu cât în oțel există mai multe carburi stabile (de Mo, W, Ti, V, Zr, Hf etc.). Concentrația elementelor de aliere în combinațiile chimice de tipul carburilor sau nitru-rilor este mai mare decât concentrația medie a aliajului. Prezența carburilor simple sau complexe în structura oțelului determină să-răcirea soluției solide în elemente de aliere, iar dizolvarea acestora are loc numai la temperaturi ridicate și la durate de mențineri mari. Acest fapt determină ca tendința spre supraîncălzire a oțelurilor aliate să fie cu atât mai mică cu cât oțelul conține mai multe elemente ce formează carburi stabile, care prin dispunerea lor la limitele grăunților de austenită constituie bariere mecanice în calea



dezvoltării grăunților de austenită. Mărimea grăuntelui de austenită și gradul de omogenitate a acesteia vor influența caracterul transformărilor ce se produc la răcirea oțelurilor aliate. Cu cât austenita este mai omogenă cu atât mai greu se va transforma în martenită și cu atât mai mult se va găsi sub formă de austenită reziduală în oțelurile călite.

Un grad de neomogenitate accentuat al austenitei determină creșterea temperaturii la care au loc transformările la răcire. În acest caz carburile nedizolvate în austenită joacă rolul germeniilor străini de transformare grăbind procesul de transformare a austenitei în amestecuri de tranziție. Deasemenea gradul mare de dispersie al structurii rezultate în urma încălzirii va grăbi descompunerea austenitei la răcire.

#### 5.1.2. Influența elementelor de aliere asupra transformărilor austenitei la răcire

Prezența elementelor de aliere deplasează concentrația carbonului din perlită crescînd-o (Al, Co, Cu) sau micșorînd-o (Ti, Mo, Si, Mn, Cr, W).

Asupra temperaturii transformării austenitei în perlită, elementele de aliere au aceeași influență ca și asupra transformării alotropice; elementele gamagene (Ni, Mn, Co) coboară temperatura punctului  $A_1$ , iar elementele alfa-gene (Cr, Si, V, Mo, W, Ti) urcă această temperatură.

Temperatura de formare a perlitei influențează mult gradul de dispersie al acesteia. Astfel, cu cât temperatura de transformare a austenitei în perlită este mai mare cu atât perlita obținută va fi mai grosolană.

Elementele de aliere dizolvate în ferită sau cementită (cu excepția cobaltului) determină micșorarea vitezei de transformare



a austenitei în amestecuri mecanice perlitice, deplasând curbele TTT spre dreapta și măresc totodată gradul de subrăcire al austenitei. Prezența carburilor dispersate în austenită accelerează transformarea acesteia.

Austenita înalt aliată se transformă mai greu la temperaturi mai scăzute în martensită. Astfel, elementele de aliere cu excepția Al, Co și Si coboară punctul de început de transformare martensitică ( $M_S$ ) și odată cu aceasta determină creșterea cantității de austenită reziduală în structura oțelurilor după călire.

### 5.1.3. Influența elementelor de aliere asupra călibilității oțelurilor

Din punct de vedere al tratamentului termic, neajunsul principal al oțelurilor carbon nu constă în caracteristicile mecanice scăzute ci în călibilitatea lor redusă, care face ca proprietățile acestora să fie neuniforme în secțiunea pieselor mijlocii și mari.

Călibilitatea oțelurilor se află în strânsă legătură cu viteza critică de călire, cu mărimea grăuntelui de austenită, cu temperatura de încălzire și cu compoziția chimică a oțelurilor. Toate elementele de aliere (excepție face cobaltul) măresc stabilitatea austenitei subrăcite, micșorează viteza critică de călire și măresc călibilitatea oțelurilor. În ordine descrescătoare a influenței lor acestea sînt: Mo, Mn, Cr, Ni, Cu, Si.

Creșterea călibilității oțelurilor de către elementele de aliere, în special cele care se dizolvă în fier, este pusă pe seama micșorării vitezei de difuzie a atomilor de carbon de către acestea.

Elementele de aliere care formează carburi stabile (W, V, Ti, Nb) influențează negativ asupra călibilității micșorînd-o, deoarece aceste elemente micșorează gradul de aliere al austenitei.

Călibilitatea se modifică brusc (crește) prin adăugare de



cantități foarte mici (zecimi de miimi de procent) de elemente de aliere. De exemplu, adaosuri de 0,002-0,004% B duc la creșterea bruscă a călibilității.

Explicația acestui fapt constă în faptul că elementele de aliere influențează călibilitatea nu numai prin creșterea stabilității austenitei ci și prin modificarea energiei superficiale a grăunților.

#### 5.1.4. Influența elementelor de aliere asupra transformărilor ce au loc la revenirea oțelurilor

Tratamentul termic de revenire este etapa finală a unei prelucrări termice care asigură proprietățile dorite pieselor și sculelor.

Elementele de aliere favorizează obținerea unor structuri de revenire cu un grad mărit de dispersie care asigură îmbinarea cea mai favorabilă a proprietăților de rezistență.

Procesele ce au loc la revenire, descompunerea martensitei și austenitei în amestecuri disperse ferito-cementitice, bazate pe difuzia carbonului, sunt influențate de elementele de aliere în funcție de temperatura de revenire. Astfel, în primul stadiu de descompunere a martensitei, elementele de aliere care nu formează carburi (Mn, Ni, Si, Co, Al, Cu) influențează puțin separarea carbonului din martensită, în timp ce elementele care formează carburi (Cr, W, Mo, V, Ti) se opun puternic descompunerii martensitei.

Aceasta este cauza pentru care oțelurile aliate cu astfel de elemente ce formează carburi au, după revenirea joasă, durități superioare oțelurilor carbon.

Influența elementelor de aliere se face mai simțită la temperaturi mai ridicate de revenire. Astfel, după reveniri la 450-500°C, duritatea oțelurilor aliate nu mai scade, iar pentru unele oțeluri aliate chiar poate să crească. Pe măsura creșterii temperaturii de revenire, procesele de difuzie a carbonului din martensită iau sfâr-



git și încep procesele de creștere a carburilor precipitate din martensită și austenită și de formare a carburilor elementelor de aliere fin disperse, care constituie cauza principală a creșterii durității.

Contribuie la creșterea durității după revenire la temperaturi ridicate 500-600°C, numai elementele de aliere care formează carburi (Cr, Mo, W, V, Ti) și care s-au dizolvat parțial în austenită la încălzirea pentru călire, cum este cazul elementelor de aliere din oțelurile rapide.

Transformările ce se petrec în austenita reziduală sînt funcție de natura și cantitatea elementelor de aliere. Astfel, în oțelurile slab aliate austenita începe să se transforme în martensită în timpul încălzirii la revenire începînd cu temperaturi de 250°C. În oțelurile bogat aliate cu elemente ce formează carburi, la încălzirea pentru revenire, din austenită precipită carburi, iar la răcire austenita reziduală se transformă în martensită (durificare secundară).

Fiecare element de aliere are o temperatură specifică de revenire la care influența sa este cea mai puternică: 320-350°C pentru Si; 400-425°C pentru Mn; 425-450°C pentru Cr; 525-550°C pentru Mo și 600°C pentru V.

La revenirea oțelurilor aliate, în special cele de construcție cu Mn, Cr, Cr-Mn și Cr-Ni apare fenomenul de fragilitate de revenire, care poate fi diminuată prin ocolirea domeniului de temperaturi de revenire 200-400°C, prin răcirea bruscă în apă sau ulei după reveniri în domeniul 450-650°C sau prin adaosuri de 0,5% Mo sau 1% W.

#### 5.2. Particularitățile tratamentelor termice aplicate oțelurilor aliate

Oțelurile aliate, în funcție de natura și cantitatea elemente-



lor de aliere se vor comporta asemănător sau total diferit la tratamentele termice comparativ cu oțelurile carbon.

Încălzirea oțelurilor aliate în vederea recoacerii sau călirii se face cu viteză mică sau în trepte. Cu cât oțelul conține mai multe elemente de aliere și în cantitate mai mare, conductibilitatea lor termică scade și la încălzire apar în secțiune diferențe mari de temperatură care duc la formarea de tensiuni termice și la apariția deformațiilor sau fisurărilor. Încălzirea cu viteză mică pentru oțelurile slab și mediu aliate, sau în trepte pentru oțelurile bogat aliate, asigură încălzirea lentă și uniformă a pieselor în toată secțiunea eliminând astfel pericolul formării tensiunilor termice. În domeniul temperaturilor mari când oțelurile se află în stare plastică, viteza de încălzire poate fi ridicată.

Temperatura de încălzire la tratamentele termice ce necesită transformări de fază, pentru oțelurile aliate se află cu 50-250°C peste punctul critic  $A_{C3}$ .

La oțelurile aliate cu elemente ce formează carburi, durata de menținere la temperatura de încălzire este mai mare cu 20-30% față de oțelurile nealiate, trebuind să asigure un anumit grad de omogenizare a austenitei, deci să asigure dizolvarea parțială a carburilor în austenită.

La recoacere oțelurile aliate se răcesc numai odată cu cup-torul.

În vederea călirii, oțelurile aliate se răcesc cu viteză mai redusă, în ulei sau chiar aer, deoarece stabilitatea austenitei sub-răcite este mare, iar viteza critică de călire este mult mai mică decât la oțelurile carbon.

Parametrii tehnologici de revenire trebuie să asigure transformările structurale ale martensitei și să evite pe cât posibil



fenomenul de fragilitate de revenire.

Oțelurilor aliate li se pot aplica tratamente termice de recoacere de globulizare, de recristalizare, de omogenizare, de detensi-onare, de normalizare, de călire și de revenire.

#### 5.2.1. Tratamentul termic al oțelurilor aliate cu mangan

Manganul, element gamagen, este solubil în fier pînă la maxim 10%. Mărește mult călibilitatea, coboară mult punctul de început al transformării martensitice și micșorează concentrația în carbon a perlitei. Prin dizolvare în perlită, manganul îi mărește duritatea și-i scade rezistența la rupere și tenacitatea acesteia. Prin dizol-vare în  $Fe_3C$  dă  $(FeMn)_3C$  care se descompune la temperaturi relativ mici, mărind sensibilitatea la supraîncălzire.

În urma răcirii în aer liber (normalizare) structura oțeluri-lor cu mangan, în funcție de conținutul de Mn și C poate fi: perli-tică, martensitică sau austenitică.

Oțelurile perlitice sînt destinate construcției de mașini și conțin pînă la 1,5% Mn. Recoacerea de înmuiere a oțelurilor perlitice cu mangan este o recoacere izotermă urmată de răcire foarte în-ceată, deoarece în aceste oțeluri apare foarte ușor structura de că-lire la răcirea în aer liber, avînd viteze critice de călire scăzu-te. În vederea călirii, aceste oțeluri se austenitizează la tempera-turi imediat superioare punctului critic  $A_{C3}$ , pentru a preveni apari-ția supraîncălzirii, iar răcirea se face în ulei sau apă. Revenirea se realizează la 550-650°C, cu răcire în apă pentru a evita apari-ția fragilității de revenire. Structura obținută în urma acestei re-veniri este sorbitică.

Odată cu creșterea conținutului de Mn, adîncimea stratului ce-mentat la temperaturi înalte 980-1000°C scade, iar dimensiunile gră-unților în stratul cementat scad.

Oțelurile austenitice cu mangan conțin 1,2-1,4% C și 12-14% Mn, se ecrusează foarte ușor devenind martensitice când duritatea și rezistența la uzare cresc foarte mult, iar limita de curgere scade. Aceste oțeluri se prelucresc numai prin turnare și rectificare, ele nefiind deformabile și nici aşchiabile.

În urma călirii de punere în soluție de la 1000-1050°C, aceste oțeluri au structura formată din austenită omogenă, sînt moi și foarte tenace.

Prin revenire, din austenită, separe carburi și uneori se formează chiar ace de martensită, lucru ce determină creșterea durității pînă la 400 HB.

Oțelurile martensitice care au un conținut mare de carbon și mediu de mangan nu se utilizează datorită marii lor fragilități.

Oțelurile perlitice sînt destinate pieselor supuse la uzare (bucșe, roți dințate, șine de cale ferată, arcuri etc.), iar când conțin mult carbon sînt destinate sculelor de măsurat (rigle, șabloane, calibre, etc.)

Oțelurile austenitice cu mult carbon și mangan sînt oțeluri nemagnetice și foarte rezistente la uzare, destinate cupelor de excavatoare, fălci de concasare, cilindri de laminare, etc.

#### 5.2.2. Tratamentul termic al oțelurilor aliate cu crom

Cromul, element alfa-gen este total solubil în fier, putînd forma cu fierul compusul intermetalic FeCr, iar cu carbonul formează carburi de forma:  $Cr_3C_2$ ;  $Cr_4C$ ;  $Cr_{23}C_6$ ;  $Cr_7C_3$  ( $FeCr$ ) $_4C$ ; ( $FeCr$ ) $_4C$ ( $FeCr$ ) $_7C_3$  care sînt stabile (disociază la temperaturi superioare valorii de 1550°C).

Cromul determină creșterea durității, rezistenței la rupere și a rezistenței la uzare, în special după călire, când structura este formată din martensită aliată cu crom și carburi, fig. 201.



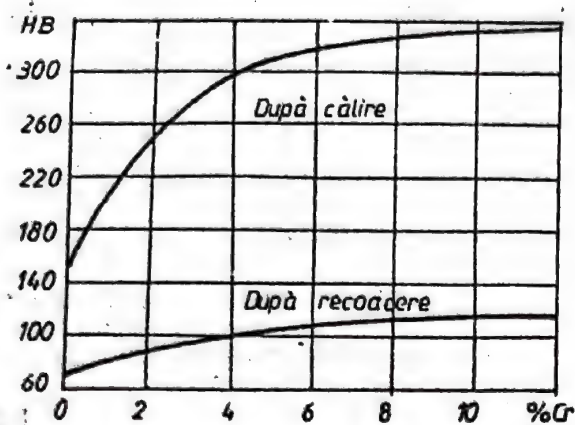


Fig. 201. Influența cromului asupra durității unui oțel cu 0,02%C după călire și după recoacere.

Cromul deplasează spre dreapta curbele TTT, mărește călibilitatea oțelurilor și stabilitatea austenitei subrăcite și stabilitatea martensitei la revenire. Peste 1% Cr mărește rezistența la coroziune în atmosferă și în unii acizi atât la temperatura ambiantă, cât și la temperaturi mai ridicate.

Structura oțelurilor cu Cr în urma răcirii în aer liber poate fi: perlită cu carburi  $(CrFe)_7C$ , feritică cu carburi  $(CrFe)_{23}C_6$ , martensitică cu carburi și ledeburitică.

Oțelurile cu crom, după turnare se prelucrează prin deformare plastică la cald în scopul micșorării granulației, distrugerea rețelei de carburi, finisării carburilor și uniformizării lor.

Oțelurile aliate cu crom 0,8-1,5% de construcție cu structura perlitică se tratează termic prin recoacere, normalizare, călire și revenire și termochimic prin cementare. Temperatura de austenitizare este de 820-850°C. Pentru călire se recomandă ca mediu de răcire - uleiul, când se obține o adâncime mare de călire (25-30 mm). Pentru prevenirea fragilității de revenire, se recomandă răcirea pieselor în ulei sau apă de la temperatura de revenire.

Aceste oțeluri sînt destinate pieselor din industria de automobile și sculelor: roți dințate, arbori, biele, cilindri, buloane, rulmenți, stanțe, calibre, șabloane, tarozi etc.

Oțelurile aliate cu 12-14%Cr și cu 1,2-2,2%C călite și revenite la 500-550°C au o mare rezistență la uzare și sînt destinate

confecționării de scule pentru deformare plastică (dălți, ciocane, role de laminare), de așchiere (cuțite, tarozi, filiere) și pentru măsurare (calibre, șabloane).

Oțelurile inoxidabile cu peste 12% Cr și puțin carbon (0,1-0,15% C) cu structura feritică călite de punere în soluție de la 1000-1100°C și revenite la 300-400°C, se folosesc pentru fabricarea de instrumente chirurgicale, tacâmuri, recipiente rezistente la acțiunea acizilor, rulmenți inoxidabili (reveniți la 180°C), schimbătoare de căldură etc.

Oțelurile cu 25-30% Cr și sub 0,35% C au o structură feritică și nu prezintă transformări de fază. Călirea lor se face de la 800-900°C cu răcire în apă sau ulei, iar revenirea la temperaturi sub 400°C.

#### 5.2.3. Tratatamentul termic al oțelurilor aliate cu siliciu

Siliciul, element alfa-gen, este solubil în fier până la 14%, reduce conținutul de carbon din perlită, iar când în oțel există mult carbon determină grafitizarea lui.

Siliciul mărește călibilitatea și sensibilitatea la supraîncălzire a oțelurilor. Siliciul mărește duritatea, rezistența și elasticitatea feritei, micșorează rezistența și plasticitatea oțelurilor, provocând apariția fragilității la temperatura ambiantă. Sporește permeabilitatea magnetică, rezistivitatea electrică, reduce pierderile prin curenți Foucault, reduce conductibilitatea termică, mărește rezistența la oxidare la temperaturi înalte și la coroziune în acid sulfuric și azotic.

Încălzirea pentru austenitizare în vederea recoacerii sau călirii este imediat peste  $A_{C3}$  (820-860°C) pentru a preveni separarea grafitului. Oțelurile aliate cu Si se revin la temperaturi de 400-500°C când în structură se obține troostită, iar elasticitatea este



maximă.

Cresterea temperaturii de revenire determină scăderea durității, fig. 202. Siliciul micșorează adâncimea de cementare și face posi-

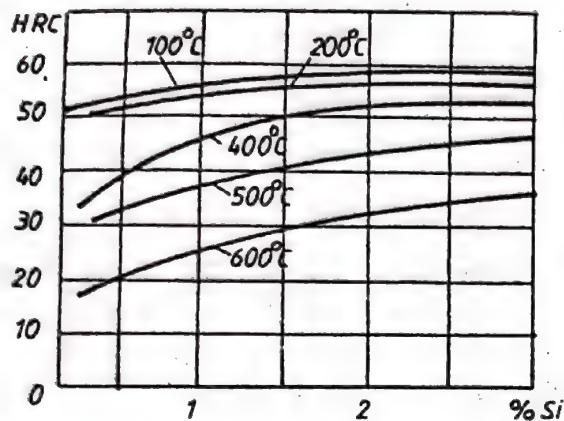


Fig. 202. Influența conținutului de Si asupra durității oțelurilor revenite la diverse temperaturi.

la 3% oțelurile călite și revenite sînt destinate arcurilor.

Oțelurile cu 0,1% C și 1-4,2% Si sînt oțeluri electrotehnice, iar cele cu 0,6% C și 12-18% Si sînt anticorozive în acizi.

#### 5.2.4. Tratamentul termic al oțelurilor aliate cu nichel

Nichelul, element gamagen, este total solubil în fier, care mărește călibilitatea, mărește tenacitatea, micșorează coeficientul de dilatare liniară, mărește rezistivitatea oțelurilor și deplasează curbele TTT la dreapta.

Oțelurile cu nichel în urma răcirii în aer liber pot avea structura: perlitică, martensitică sau austenitică.

Oțelurile aliate cu Ni se utilizează în stare recoaptă, călite, revenite și cementate. Călire se face din domeniul austenitic cu răcire în apă sau ulei, iar revenirea se aplică la 400-450°C cînd se obțin rezistența și reziliența maxime.

Oțelurile perlitice aliate cu 0,5-0,6% Ni, sînt oțeluri de construcție (roți dințate, arbori cu came, palete de turbină, biele).

bilă apariția grafitului în stratul cementat.

Oțelurile aliate cu siliciu, de construcție, ce conțin 0,8-1,1% Si și 0,1-0,15% C se utilizează pentru piese turnate care nu se prelucurează mecanic ulterior.

Dacă conținutul de carbon este pînă la 0,75% și de Si pînă

Oțelurile austenitice aliate cu 25-46%Ni sînt oțeluri cu proprietăți fizice speciale: coeficient mic de dilatare (invar,elinvar,platinit), inoxidabile și refractare.

#### 5.2.5. Tratamentul termic al oțelurilor aliate cu wolfram

Wolframul,element alfa-gen, este solubil în fier pînă la 6%.

Deasemeni formează cu fierul compusul  $Fe_3W_2$ ,iar cu carbonul formează carburi stabile WC și  $W_2C$  care se descompun la temperaturi de  $2700^{\circ}C$

În urma tratamentelor termice,wolframul favorizează finisarea structurii.Wolframul mărește călibilitatea,micșorează fragilitatea la revenire,micșorează mult viteza critică de călire,mărește stabilitatea termică la revenire și micșorează sensibilitatea la supraîncălzire a oțelurilor.

Structura oțelurilor aliate cu wolfram poate fi perlitică și ledeburitică (cu carburi).

Intrucît wolframul îngustează mult domeniul austenitic și formează carburi cu ușurință,fapt ce determină scăderea conținutului de carbon din austenită,este posibil ca la un anumit conținut de wolfram oțelurile să nu se mai poată căli la martensită.Din acest motiv,trebuie să existe un raport favorabil călirii între carbon și wolfram,fig.203.

Temperatura de încălzire pentru călire trebuie să fie ridicată (peste  $1200^{\circ}C$ ) pentru a asigura dizolvarea unei cantități cît mai mari de carburi în austenită.Cu cît temperatura de încălzire pentru călire crește, cu atît crește și cantitatea de austenită reziduală (aceasta devenind mai stabilă) și cu atît va crește temperatura de revenire. Eliminarea cantității de austenită reziduală se face prin aplicarea de reveniri multiple sau prin tratamente termice la temperaturi sub  $0^{\circ}C$ .Oțelurile aliate cu mult wolfram și puțin carbon sînt susceptibile durificării prin precipitare (îmbă-



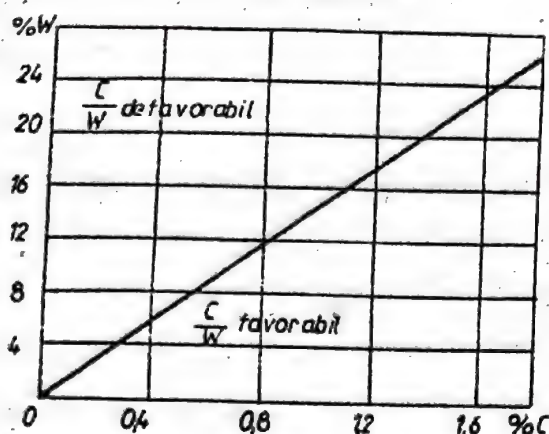


Fig. 203. Raportul între carbon și wolfram în oțelurile aliate călibile.

trînririi). În acestea, după o călire de punere în soluție de la temperaturi înalte (peste  $1200^{\circ}\text{C}$ ) se obține o ferită puternic suprasaturată în wolfram, din care în timpul încălzirii ulterioare pînă la  $700-800^{\circ}\text{C}$  va precipita fin dispers wolframuri de fier care fac ca duritatea să crească de 2-3 ori.

Oțelurile aliate cu wolfram sînt în general oțeluri de scule (rapide) autocălibile și oțeluri pentru magneți permanenți. Încălzirea oțelurilor aliate cu wolfram se face cu viteză mică sau în trepte deoarece au o conductibilitate termică redusă.

#### 5.2.6. Tratamentul termic al oțelurilor aliate cu molibden

Molibdenul, element alfa-gen, este solubil în fier pînă la 6-8%. Formează cu fierul două combinații intermetalice  $\text{Fe}_3\text{Mo}_2$  și  $\text{FeMo}$ . De asemenea formează ușor cu carbonul carburi de forma  $\text{Mo}_2\text{C}$  stabilă pînă la peste  $2000^{\circ}\text{C}$  și  $(\text{FeMo})_3\text{C}$ . Formarea carburilor duce la micșorarea conținutului de carbon din austenită.

Molibdenul are aceeași influență ca și wolframul, dar de trei ori mai pronunțat: finisează structura, mărește călibilitatea, micșorează tendința de supraîncălzire, elimină fragilitatea de revenire și mărește termostabilitatea de revenire.

După tratamentele termice toate proprietățile de rezistență și plasticitate ale oțelurilor cu molibden cresc, fig. 204. La conținuturi de peste 2% Mo în oțelurile cu conținut mediu de carbon, rezistența mecanică scade datorită scoaterii carbonului din soluția

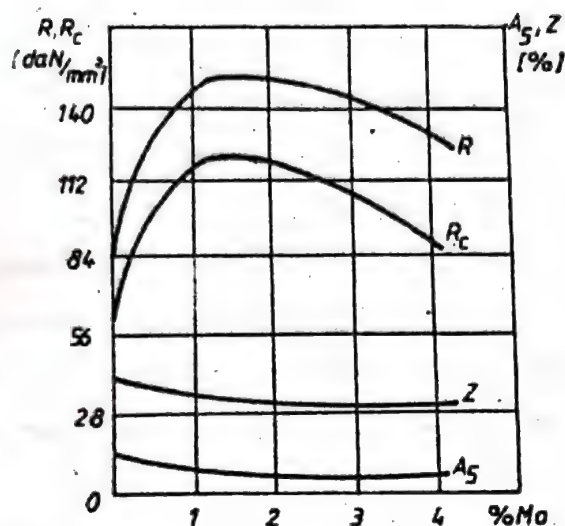


Fig. 204. Influența conținutului de molibden asupra proprietăților mecanice ale unui oțel cu 0,5%C după călire de la 930°C și revenire la 550°C.

rea pentru călire a oțelurilor cu mult carbon (0,7-1%C) și molibden (2-6%Mo) se face în aer liber sau ulei, avînd o viteză critică de călire redusă. În aceste oțeluri austenita reziduală se elimină prin reveniri multiple sau prin răcire la temperaturi criogenice. Oțelurile cu molibden 0,4-0,5% și 0,1-0,3% C sînt refractare; rezistență pînă la 500°C.

În oțelurile de construcție se adaugă 0,15-0,25% Mo în scopul îmbunătățirii proprietăților de rezistență.

#### 5.2.7. Tratamentul termic al oțelurilor aliate cu vanadiu

Vanadiul, element alfa-gen, este solubil total în fier și formează cu fierul compusul FeV, iar cu carbonul carburile VC și V<sub>4</sub>C<sub>3</sub> foarte dure și stabile (se descompun la peste 2200°C).

Cantități mici de vanadiu în oțeluri determină finisarea structurii și duce la creșterea proprietăților de rezistență, refractarizate și de elasticitate. Creșterea acestor proprietăți se manifestă în special după călire și revenire.

solidă și legarea lui în carburi. Oțelurile cu molibden se încălzesc pentru tratamentele termice cu viteză mică și la temperaturi ridicate (1200°C) pentru a se preveni formarea tensiunilor termice și a se dizolva o cantitate cât mai mare de carburi în austenită mărindu-i gradul de omogenizare. Oțelurile cu peste 6-8% Mo și puțin carbon se pot durifica prin precipitare (îmbătrînire). Răci-



Temperatura de călire și de revenire a acestor oțeluri este mult superioară oțelurilor carbon. Se observă creșterea durității și a limitei de curgere numai după reveniri la 550-600°C.

Duritatea este cu atât mai mare cu cât conținutul de vanadiu este mai ridicat și cu cât temperatura de călire este mai mare.

Vanadiul contribuie la creșterea durității straturilor nitrurate. De asemenea contribuie la finisarea structurii straturilor cementate.

#### 5.2.8. Tratamentul termic al oțelurilor aliate cu crom și nichel

Oțelurile aliate Cr-Ni sînt cele mai utilizate oțeluri datorită complexului deosebit de proprietăți mecanice și tehnologice ce le posedă.

Sînt caracterizate printr-o călibilitate foarte mare și proprietăți de rezistență și plasticitate ridicate, inclusiv rezistență la oboseală și reziliență. Singura deficiență a oțelurilor aliate Cr-Ni constă în fragilitatea de revenire accentuată.

Structura acestor oțeluri după răcirea în aer liber poate fi: ferito-perlitică, martensitică sau austenitică, fig. 205.

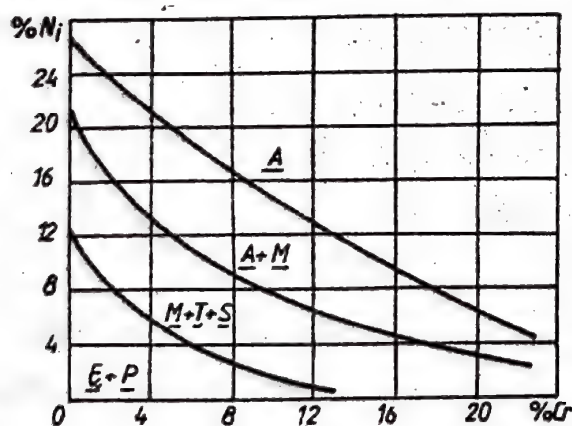


Fig. 205. Diagrama structurii oțelurilor crom-nichel.

Oțelurile Cr-Ni cu conținut mic de carbon, de crom și de nichel sînt oțeluri de cementare ferito-perlitice, care se călesc fie direct de la 860°C în ulei după cementare sau se călesc dublu pentru miez și pentru strat. Revenirea acestor oțeluri se face la 150-200°C. Oțelurile

de construcție Cr-Ni ce conțin peste 0,3% C sînt de îmbunătățire;

ele se călesc de la 800-840°C în ulei apoi se revin înalt la 450-600°C când se răcesc în apă sau ulei pentru a preveni fragilitatea de revenire.

Proprietățile de rezistență scad, iar proprietățile de plasticitate cresc odată cu creșterea temperaturii de revenire a acestor oțeluri, fig. 2o6. Oțelurile inoxidabile Cr-Ni (18%Cr; 8%Ni și sub 0,15%

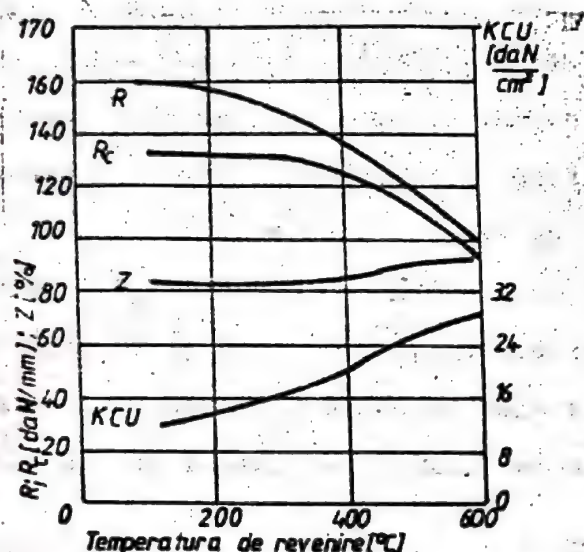


Fig. 2o6. Variația proprietăților mecanice cu temperatura de revenire a unui oțel aliat cu 0,75% Cr; 3% Ni; 0,14% C.

menul de coroziune intercristalină, fenomene care se elimină prin adausuri de Ti sau Nb.

C) au structura austenitică, se ecrusează ușor, sînt nemagnetice, refractare, foarte tenace la rece și au o sudabilitate bună.

Aceste oțeluri se călesc de punere în soluție de la 1050°C când au proprietăți maxime de tenacitate și anticorozive. La răcirea în ulei sau aer liber, precipită carburi de crom, favorizînd fenomenul de coroziune intercristalină, fenomene care se elimină prin adausuri de Ti sau Nb.



## Cap.VI. TRATAMENTELE TERMICE SI TERMOCHIMICE ALE FONTELOR

Fontele sînt aliajele Fe-C ce conțin între 2,11-6,67% C, Si, Mn, S, P și alte elemente însoțitoare, destinate turnării. În funcție de forma de existență a carbonului, liber sau legat în cementită, fontele sînt cenușii sau albe.

Fontele, în special cele cenușii, se utilizează pe scară largă în construcția de mașini datorită complexului de proprietăți fizico-mecanice și tehnologice ce le posedă: rezistență mare la uzare, capacitate mare de amortizare a vibrațiilor, turnabilitate bună, prelucrabilitate bună prin așchiere și un preț de cost scăzut.

Fontele cenușii se obțin prin adăugare în cantități sporite de Si sau alte elemente grafitizante (Ni, Al, Cu, etc.) și în urma răcirii cu viteze lente, iar fontele albe se obțin prin adăugare de Mn sau alte elemente antigrafitizante (S, Cr, Mo, W, V, etc.) sau la răcirii cu viteze mari.

Proprietățile fontelor sînt influențate de structura inițială, de gradul de dispersie al constituienților și de compoziția chimică; ele pot fi modificate pregnant atât prin modificarea structurii inițiale cît și prin aplicarea de tratamente termice și termochimice.

### 6.1. Tratamente termice aplicate fontelor

Tratamentele termice aplicate fontelor urmăresc următoarele scopuri: înlăturarea tensiunilor interne, înmuierea pieselor turnate, stabilizarea dimensiunilor, îmbunătățirea prelucrabilității prin așchiere, creșterea unor proprietăți mecanice.

Tratamentele termice aplicate fontelor cenușii sînt asemănătoare celor aplicate oțelurilor: recoacerea de detensionare, recoacerea pentru ameliorarea prelucrabilității prin așchiere, recoacerea de înmuiere, normalizarea, călirea pătrunsă și superficială și reve-

nirea.

Fontele albe se supun recoacerii de maleabilizare în urmă' căreia cementita se descompune total sau parțial în grafit și ferită, transformând fontele albe în fonte cenușii, denumite fonte maleabile.

#### 6.1.1. Recoacerea de detensionare a fontelor

Este un tratament termic specific pieselor turnate din fontă cenușie sau albă în scopul eliminării parțiale sau totale a tensiunilor interne.

În funcție de dimensiunile și complexitatea formei pieselor, tensiunile termice obținute în urma turnării, pot atinge valori de pînă la 70% din rezistența la încovoiere a fontei respective. Tensiunile interne sînt cauzate de faptul că solidificarea și contracția pieselor turnate nu se produc simultan și cu aceeași viteză în toată masa lor. Forma de turnare împiedică contracția liberă a diverselor porțiuni din piese, ducînd deseori la formarea tensiunilor. După turnare tensiunile interne formate în piese sînt echilibrate, însă prin prelucrări de așchiere, acest echilibru se distruge, iar tensiunile interne existente duc la deformări și chiar la distrugerea pieselor.

Tensiunile interne în piesele de fontă, apar și în urma unor operații de așchiere de degrosare.

Eliminarea tensiunilor interne din piesele din fontă, după turnare sau așchiere de degrosare se realizează fie pe cale naturală prin menținere la temperatura ambiantă un timp îndelungat (2-8 luni), cînd se înlătură cea 50% din tensiunile interne inițiale, fie prin încălzirea lentă ( $50-400^{\circ}\text{C/h}$ ) a pieselor pînă la temperaturi de  $500-600^{\circ}\text{C}$ , mențineri de 3-4 ore pentru fiecare 25-30 mm grosime, urmate de răcirii cu viteză mică ( $30-250^{\circ}\text{C/h}$ ), fig. 207.



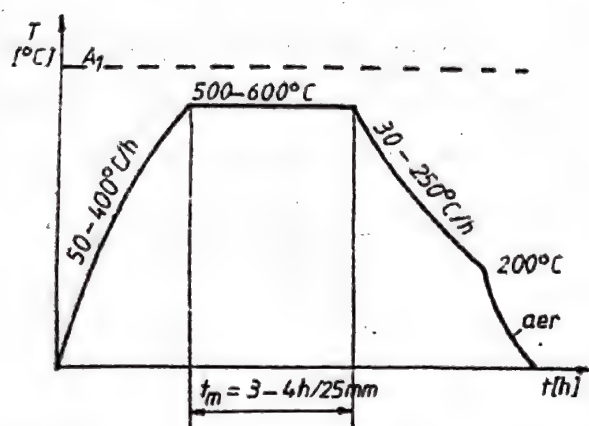


Fig. 207. Graficul recoacerii de detensionare a fontelor.

iar viteza de răcire scade. Fontele cu grafit nodular se detensionează la temperaturi și durate mai mari decât fontele cenușii. Fontele maleabile nu se detensionează deoarece tensiunile se elimină prin recoacerea de maleabilizare. Nerespectarea parametrilor tehnologici ai recoacerii de detensionare duce la fenomene de globulizare a perlitei sau de grafitizare a fontei cu efecte nefavorabile asupra proprietăților pieselor din fontă.

Influența temperaturii de încălzire și a duratei de menținere asupra eliminării tensiunilor interne este dată în fig. 208. Cu cât

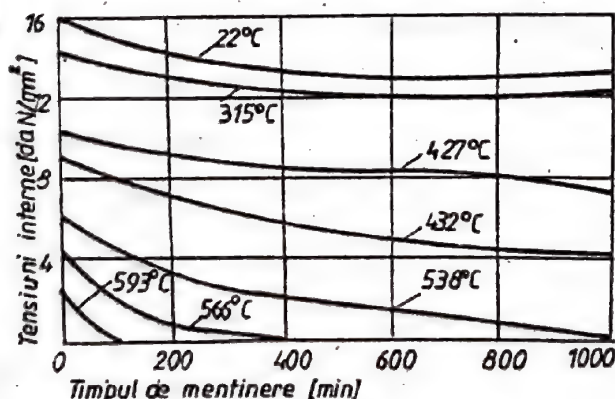


Fig. 208. Influența temperaturii de încălzire și timpului de menținere asupra gradului de detensionare a fontelor.

Parametrii tehnologici ai recoacerii de detensionare a fontelor sînt în funcție de forma grafitului și rezistența mecanică a fontelor. Astfel, cu cât rezistența la rupere a fontei crește cu atît temperatura de recoacere crește spre valoarea de 600°C, timpul de menținere crește spre 4 ore,

temperatura și durata sînt mai mari cu atît eliminarea tensiunilor se face mai complet, însă apare pericolul descompunerii cementitei în ferită și grafit (grafitizarea fontelor). Fenomenul de grafitizare ce apare la recoacerea de detensionare este cu atît mai accentuat

și se produce la temperaturi cu atât mai joase cu cât cantitatea de siliciu din fontă este mai mare, fig. 209.

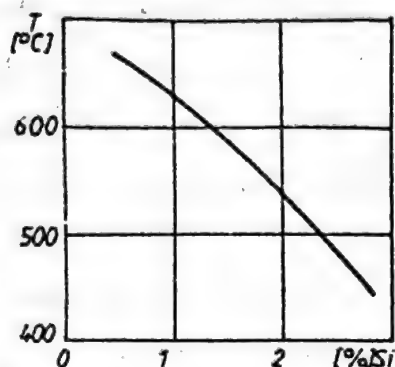


Fig. 209. Influența Si asupra temperaturii de început de grafitizare în timpul recoacerii de detensionare a fontelor.

Eliminarea tensiunilor interne din piesele din fontă se poate realiza mai economic și cu rezultate foarte bune prin vibrare. Se folosesc vibratori ce realizează forțe de vibrație de cca 4 daN/mm<sup>2</sup>, la frecvențe de minim 3000 vibrații/min. Detensionarea se realizează în acest caz la temperatura ambiantă și într-un timp mai scurt (2h)

#### 6.1.2. Recoacerea de înmuiere a fontelor

Se aplică pieselor turnate din fontă

care au la suprafață un strat albit foarte dur în scopul ameliorării prelucrabilității prin așchiere.

Se aplică deasemeni și pieselor din fontă care conțin în întreaga masă metalică cementită liberă sau ledeburită pe lângă perlită și grafit ca urmare a unei viteze prea mari de răcire în urma turnării.

În timpul recoacerii de înmuiere, cementita se descompune în ferită și grafit și prin aceasta duritatea pieselor scade foarte mult (de la 350-400 HB la 160-210 HB) îmbunătățindu-se așchiabilitatea.

Structura finală a fontelor după recoacerea de înmuiere poate fi formată din perlită, ferită și grafit, din ferită și grafit sau din perlită și grafit. Cu cât cantitatea de ferită este mai mare cu atât duritatea va fi mai mică.

Cementita se descompune cu atât mai greu cu cât în fontă se află elemente ce formează carburi Cr, W, Mo, Mn, V, etc. și cu atât mai

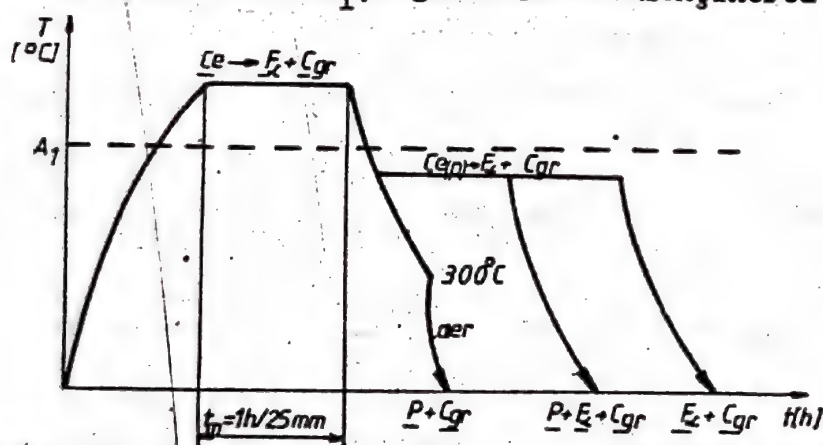


ușor cu cât fonta conține mai mult Si, Ni, Cu, etc.

Recoacerea de înmuiere constă din încălzirea pieselor la temperaturi sub sau peste  $A_{C1}$ , (680-750°C pentru fontele nealiat și de 780-900°C pentru fontele aliate), menținere un timp îndelungat (o oră pentru fiecare 25 mm grosime a piesei), urmată de răcire odată cu cuptorul până la 300°C apoi în aer liber..

Cu cât temperatura de încălzire crește cu atât procesul descompunerii cementitei se accelerează, iar cantitatea de perlită din structură scade. Prin ridicarea temperaturii de încălzire la 1100-1150°C, în băi de săruri, cementita se descompune complet și foarte rapid (în 3-5 minute).

Cînd se urmărește și descompunerea cementitei din perlită și obținerea în final a unei structuri feritice se introduce o treaptă de menținere sub  $A_1$ , fig.210. Cu cât menținerea e mai lungă cu atât



cantitatea de ferită e mai mare.

Fontele cu grafit nodular, care conțin în structură cementită liberă, se supun unei recoaceri de înmu-

Fig.210. Graficul recoacerii de înmuiere a fontelor cu strat albit.

iere care constă în încălzire la

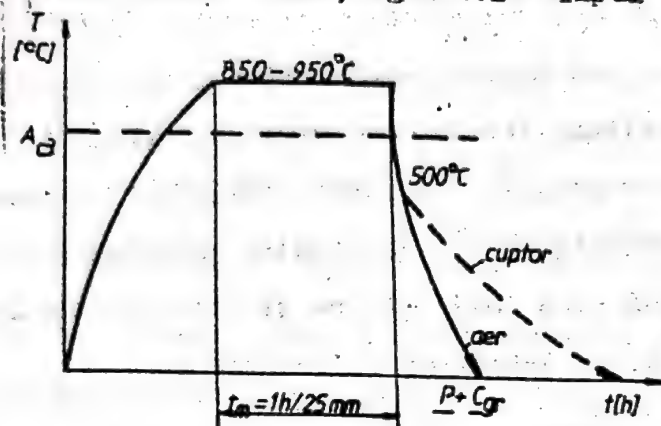
950°C, menținere 1-4 ore, urmată de răcire lentă cu cuptorul până la 300°C apoi în aer liber.

### 6.1.3. Normalizarea fontelor

Se aplică fontelor cenușii cu structura inițială feritică sau ferito-perlitică cu multă ferită, în scopul creșterii proprietăților

mecanice de duritate și rezistență la uzare.

Constă în încălzirea pieselor din fontă la temperaturi peste  $A_{C3}$  ( $850-950^{\circ}\text{C}$ ), menținere de o oră pentru fiecare 25 mm grosime și răcire în aer liber, fig. 211. În timpul încălzirii și menținerii la



temperatură, are loc creșterea concentrației în carbon a austenitei (sursa de carbon fiind grafitul), iar în timpul răcirii, austenita cu concentrația în carbon mai apropiată de eutectoid, va trece într-o măsură mai mare în perlită

Fig. 211. Graficul recoacerii de normalizare a fontelor.

decît în ferită. Creșterea cantității de perlită prin normalizare este cauza creșterii durității de la 130-160 HB la 250-270 HB și rezistenței la uzare.

Normalizarea se aplică, în general, pieselor din fontă ce au multă ferită în structură și care urmează a fi călite.

Prin normalizare crește cantitatea de carbon legat în cemențită peste 0,45% C, mărindu-se astfel capacitatea de călire a fontelor. Pentru a evita deformările pieselor cu configurație complexă și cu pereți subțiri, acestea se răcesc în aer suflat pînă la  $500^{\circ}\text{C}$  apoi se introduc și se răcesc odată cu cuptorul (curba punctată din fig. 211). Prezența elementelor de aliere Ni, Mo și V măresc substanțial duritatea după normalizare.

Uneori se recomandă aplicarea unei recoaceri de detensionare după normalizare.

Normalizarea se aplică și fontelor cu grafitul nodular sau în cuiburi, în scopul creșterii cantității de perlită din structură



și a creșterii durității și rezistenței la uzare ale acestora.

#### 6.1.4. Recoacerea de maleabilizare

Se aplică pieselor turnate din fontă albă hipoeutectoidă cu puțin carbon (2,5-2,7% C) și puțin siliciu cu structura inițială perlito-cementitică, în scopul descompunerii cementitei în ferită și separării de grafit în cuiburi. Această recoacere transformă fontele albe în fonte maleabile cu proprietăți fizico-mecanice îmbunătățite.

Conținutul de Si trebuie să fie în limite restrinse pentru a permite obținerea fontelor albe după turnare și apoi descompunerii cementitei la recoacere. El se determină cu relația :

$$\%Si = \frac{6,3 - 1,8S + C_{tot}}{0,5(C_{leg} + 2,5)}$$

unde  $C_{tot}$  - conținutul de carbon total;  $C_{leg}$  - conținutul de carbon legat în cementită; S - grosimea pereților în [mm].

Se cunosc două procedee de obținere a fontelor maleabile: recoacerea de maleabilizare prin grafitizare și recoacerea de maleabilizare prin decarburare.

##### 6.1.4.1. Maleabilizarea prin grafitizare

Constă în încălzirea pieselor turnate din fontă albă cu 2,1-2,8% C; 1,7-2,0% Si; 0,3-0,65% Mn; 0,06-0,2% S; 0,08-0,15% P, la temperaturi de 950-1000°C, menținere 12-15 ore, urmată de o răcire dirijată: răcire lentă (2-3°C/h) în momentul traversării punctului critic  $A_1$  sau menținere 30-40 ore sub  $A_1$  - curbele 1 și la din fig. 1.212. Piese se încălzesc în mediu neutru solid (nisip sau șamotă) sau gazeos (metodă recentă).

Structura obținută după această recoacere este formată din ferită și grafit în cuiburi sau grafit de recoacere, iar fontele au

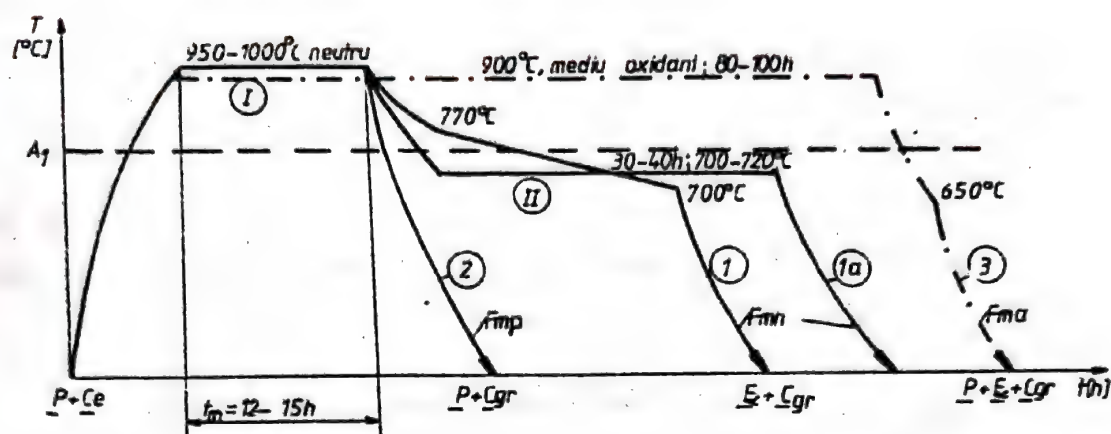


Fig. 212. Graficul recoacerii de maleabilizare a fontelor albe.

În casură o culoare închisă datorită conținutului mare de grafit și se numesc fonte maleabile cu miez negru (Fmn).

Fenomenul de grafitizare are loc în două stadii. Stadiul I de grafitizare se produce la menținerea la temperatura de 950-1000°C, când cementita liberă din fonta albă se descompune în ferită și grafit sub formă de cuiburi. Stadiul II de grafitizare se produce la răcirea lentă între 770-700°C (intervalul transformării perlitice) sau la menținerea sub  $A_1$  (700-720°C), când cementita din perlită se descompune în ferită și grafit în cuiburi. Astfel, după recoacerea de maleabilizare prin grafitizare în structura feritei nu mai există cementită și perlită ci numai ferită și grafit.

Se preferă varianta cu răcire lentă în domeniul perlitic deoarece este mai productivă, stadiul al II-lea având o durată mai scurtă.

În condițiile răcirii cu viteză insuficient de mică în domeniul perlitic sau menținerii mai puțin îndelungate sub  $A_1$ , stadiul II de descompunere a cementitei din perlită se produce incomplet, iar în structură pe lângă ferită și grafit va apărea și perlita.

Răcind piesele continuu cu viteză relativ mare (cu cuptorul)



de la temperatura de  $950-1000^{\circ}\text{C}$  (curba 2 din fig.212), se evită al II-lea stadiu de grafitizare și se obțin fontele maleabile perlitice (Fmp).

Pentru a obține perlita sub formă globulară, piesele se răcesc în aer suflat până la  $100-200^{\circ}\text{C}$ , apoi se reîncălzesc până la  $680-700^{\circ}\text{C}$  unde se mențin 3-4 ore după care se răcesc în aer liber.

#### 6.1.4.2. Maleabilizarea prin decarburare

Constă în încălzirea pieselor din fontă albă cu 2,7-3,2% C; 0,6-0,9% Si; 0,2-0,5% Mn; 0,08-0,25% S; 0,05-0,15% P la temperaturi de  $900^{\circ}\text{C}$ , menținere îndelungată de 80-100 ore, urmată de răcire lentă până la  $650^{\circ}\text{C}$  apoi în aer liber, curba 3 din fig.212.

Încălzirea pieselor are loc într-un mediu oxidant (minereu de fier). Acest lucru face ca stratul superficial al pieselor să se decarbureze puternic. Structura pieselor, în final, este formată din ferită fără grafit la exterior și din perlită sau perlită și ferită cu grafit în cuiburi în interiorul lor. Astfel, în casură aceste fonte au miezul alb și ele se numesc fonte maleabile cu miezul alb (Fma). Această variantă de maleabilizare, prin decarburare, se utilizează în practică mai rar.

Fontele maleabile obținute prin recoacere de maleabilizare prezintă proprietăți mecanice ridicate:  $R = 30-70 \text{ daN/mm}^2$ ;  $HB = 150-280$  și  $A = 2 - 14\%$  și o prelucrabilitate ridicată prin așchiere.

S-a observat că durata totală a recoacerii de maleabilizare se reduce cu 25-40% dacă fonta albă lichidă la turnare a fost dezoxidată și denitrurată cu 0,015% Al remanent. Deasemeni ciclul de recoacere de maleabilizare poate fi scurtat dacă în prealabil, după turnare, piesele din fontă albă se călesc și se revin la  $250-350^{\circ}\text{C}$ .

### 6.1.5. Călirea fontelor

Călirea fontelor se aplică în scopul creșterii durității sau creșterii proprietăților mecanice când este urmată de revenire.

Prin călire, fontele își modifică structura masei metalice fără a se modifica forma, distribuția și cantitatea grafitului.

Se aplică în special fontelor modificate cu grafit acicular sau globular și fontelor maleabile.

Pentru ca fontele cenușii să poată fi călite trebuie să aibă un conținut de carbon legat în cementită de peste 0,45% C. Atunci când conținutul de carbon legat în cementită este sub 0,45% C structura fontelor este feritică sau ferito-perlitică și lor li se aplică în prealabil o normalizare pentru a face posibilă călire.

Parametrii tehnologici ai tratamentului termic de călire a fontelor se determină pe cale experimentală.

Temperatura de austenitizare optimă pentru călire, care asigură o duritate maximă, este cuprinsă între 880-900°C, fig.213 și este

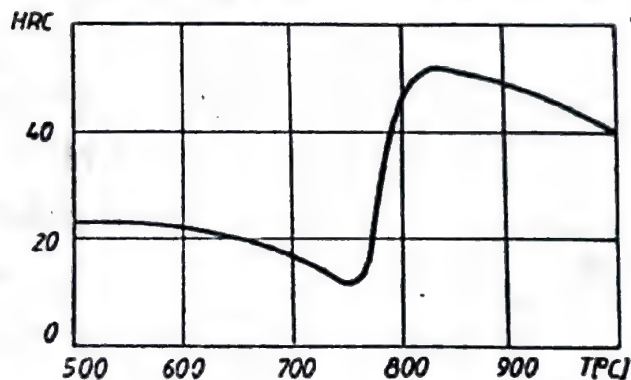


Fig.213. Influența temperaturii de călire asupra durității fontelor.

funcție de conținutul de Si și Mn. Ea poate fi determinată cu relațiile:

$T_i = 810 + 25 \cdot Si - 20 \cdot Mn$  pentru fontele cu grafit lamelar și

$T_i = 835 + 25 \cdot Si - 20 \cdot Mn$  pentru fontele cu grafit nodular.

Cu cât durata de menținere și temperatura de încălzire sînt mai mari cu atât austenita va dizolva mai mult carbon și după călire se va transforma într-o martensită mai dură, fig.214. Durata de menținere se ia cca 20 minute pentru fiecare 25 mm grosime a pereților.



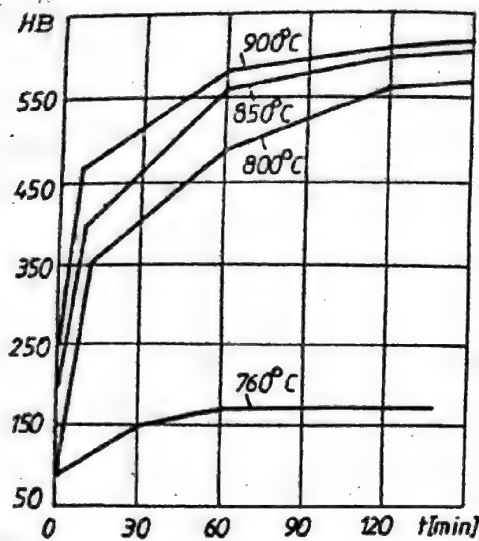


Fig. 214. Influența temperaturii de încălzire și a duratei de menținere asupra durității fontelor după călire.

Elementele de aliere, în general, măresc temperatura de încălzire și durata de menținere pentru călire. Încălzirea la temperaturi mai mari este necesară pentru a se asigura un grad de omogenizare crescut al austenitei.

Răcirea pentru călire a fontelor cenușii are loc în ulei, iar dacă sînt aliate, avînd o viteză critică scăzută, răcirea se poate efectua chiar în aer suflat.

În urma călirii, fontele cenușii au structura formată din martensită, austenită reziduală și grafit, care asigură o duritate de 450-550 HB.

Piese din fontă cenușie se pot căli continuu (a) și izoterm (b), fig. 215. Călire continuă este o călire energetică, care rea-

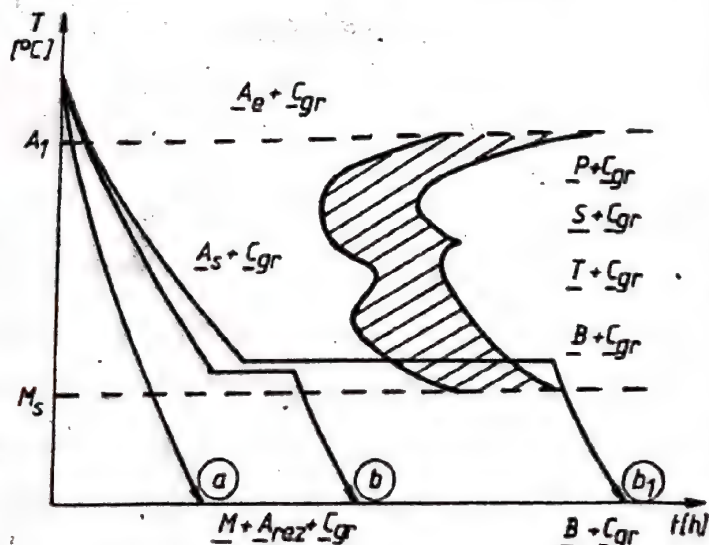


Fig. 215. Graficul călirii pătrunse a fontelor: a-călire continuă; b-călire izotermă martensitică; b<sub>1</sub>-călire izotermă bainitică.

lizează valori mari ale tensiunilor interne în piesele din fontă, putînd duce la fisurarea acestora.

Călire izotermă asigură o structură fie martensitică (b), fie bainitică (b<sub>1</sub>) și constă în răcirea bruscă a pieselor pînă deasupra punctului M<sub>S</sub>, men-

ținere pînă la, sau după curbele de transformare și apoi răcire cu, viteză mai mică. Ea prezintă o serie de avantaje: tensiuni interne de valori scăzute, permite obținerea unor proprietăți de rezistență la uzare și oboseală superioare și elimină operația de revenire cînd structura este bainitică.

Dezavantajul călirii izoterme a fontelor constă în dificultatea determinării punctului de început de transformare martensitică ( $M_S$ ) și a perioadei de stabilitate a austenitei subrăcite.

Pentru practică, determinarea lui  $M_S$  se poate face cu relația:

$$M_S = 500 - 300 \cdot C - 33 \text{ Mn} - 11 \cdot \text{Si} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

În urma călirii izoterme a fontelor la bainită, se obțin proprietăți foarte mari de rezistență și tenacitate ( $R=80-100 \text{ daN/mm}^2$ ;  $A=2-3\%$ ;  $KCU=2-5 \text{ daJ/cm}^2$ ;  $HB=300-350$ ).

Călirea izotermă se aplică cu deosebit succes fontelor cenușii cu grafit nodular și fontelor albe hipoeutectice aliate cu crom (1,5-2,5%) și nichel (3,5-5%), destinate pieselor puternic solicate la uzură abrazivă.

Călirea superficială se aplică pieselor din fontă cu grafit nodular sau maleabile care trebuie să posede o duritate și rezistență la uzură mari la exterior și o tenacitate bună a miezului. Se realizează prin aceleași metode ca și în cazul oțelurilor. Se supun călirii superficiale diverse piese (arbori cotiți, ghidajele batiurilor mașinilor unelte, roți dințate, cămăși de cilindri, etc.) care în prealabil au fost normalizate și detensionate.

Prin acest procedeu, se obțin straturi superficiale foarte dure (45-65 HRC) cu structură formată din martensită și grafit acicular sau nodular fin.



#### 6.1.6. Revenirea fontelor

Se aplică după călirea continuă, călirea superficială sau izotermă martensitică a fontelor cenușii, în scopul eliminării tensiunilor interne, micșorării durității și creșterii proprietăților de rezistență și tenacitate.

În timpul revenirii, în funcție de temperatura de încălzire martensita se descompune în amestecuri bifazice: B, I, S, iar austenita reziduală se transformă în martensită. Grafitul nu suferă nici o modificare.

Pentru ca tensiunile mari după călire să nu producă efectul de deformare, revenirea se aplică imediat după călire și uneori chiar înainte ca piesele să atingă temperatura camerei.

Parametrii tehnologici ai revenirii fontelor se aleg în funcție de proprietățile dorite a fi obținute în final.

Alegerea temperaturii de revenire se face utilizând diagrame de variație a caracteristicilor mecanice în funcție de temperatura de revenire, fig. 216. Astfel, pentru a obține duritate mare se aplică o revenire joasă la 150-180°C, pentru a obține rezistență maximă la rupere se aplică o revenire medie la 300-400°C, iar pentru a obține o reziliență maximă și o bună prelucrabilitate se aplică o revenire înaltă la 550-600°C (tratament termic de îmbunătățire).

Durata de menținere la temperatura de revenire se alege cca o oră pentru fiecare 25 mm grosime a pereților pieselor din fontă.

După călirea superficială se aplică în mod obligatoriu o revenire joasă în scopul detensionării și menținerii unei durități ridicate.

La revenirea fontelor aliate cu Cr și Ni apare fenomenul de fragilitate la revenire. De aceea, trebuie evitate temperaturile de revenire cuprinse între 500-550°C pentru aceste fonte.

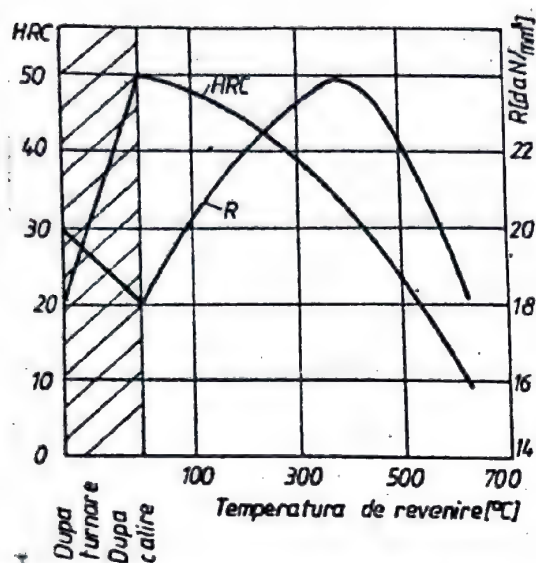


Fig. 216. Variația durității și rezistenței la rupere a fontelor cu temperatura de revenire.

## 6.2. Tratamente termochimice aplicate fontelor

piesele din fontă cenușie care trebuie să poseze în straturile superficiale proprietăți deosebite cum sînt: duritate mare, rezistență mare la uzare, rezistență la coroziune și oxidare la temperaturi înalte, păstrînd simultan un miez cu o oarecare tenacitate, se supun tratamentelor de nitrurare, aluminizare, cromizare și silicizare.

### 6.2.1. Nitrurarea fontelor

Constă în saturarea straturilor superficiale a fontelor, în special aliate cu Cr, Al și Mo, cu azot. Duritatea mare (980-1050 HV) a straturilor superficiale este dată de formarea nitrurilor de Cr, Al și Mo foarte stabile și dure. În general se supun nitrurării fontele cu puțin grafit și care au următoarea compoziție chimică: 2,5-2,8% C; 1-2,5% Si; 0,3-0,7% Mn; 1,2-1,5% Cr; 0,8-1,2% Al; 0,2-0,4% Mo. Piesele supuse nitrurării sînt în prealabil călite de la 850°C și revenite înalt (550-600°C) cu structura sorbitică dispersă.

Nitrurarea fontelor constă în încălzirea lor într-un mediu de amoniac la temperatura de 500-520°C timp îndelungat de 50-90 ore în funcție de adîncimea stratului nitrurat (0,3-0,4 mm).

Se supun nitrurării, piese solicitate puternic la uzare din fontă cu grafit fin acicular sau nodular: arbori cu came, cămăși de



cilindri, arbori cotiți, etc.

#### 6.2.2. Cromizarea fontelor

Prin saturarea cu Cr a straturilor superficiale ale pieselor din fontă se obțin durități, rezistență la uzare și rezistență la coroziune mari. Duritatea crește până la 1100-1200 HV și este cauzată de prezența în strat a unui amestec de ferită saturată cu crom și carburi de tipul  $(CrFe)_7C_3$  și  $(CrFe)_4C$ .

Cromizarea fontelor se realizează prin încălzirea acestora în amestecuri formate din pulbere de ferocrom și caolin în prezența HCl sau  $NH_4Cl$  (clorură de amoniu) la temperaturi de 1000-1100°C. Într-un timp de 20-25 ore se obține o adâncime de 0,15-0,2 mm. Fontele cromizate au o rezistență mare la uzare și o rezistență bună la coroziune în acizi.

#### 6.2.3. Silicizarea fontelor

Constă în saturarea straturilor superficiale ale pieselor din fontă cenușie, cu Si, în scopul creșterii rezistenței la oxidare, prin încălzirea lor în medii capabile să disocîze în siliciu, la temperaturi de 1000-1100°C un timp de 20-25 ore. Adâncimea la silicizare este în funcție de calitatea fontei. Astfel, la fontele maleabile cu miezul negru adâncimea obținută este de 0,5-0,8 mm, iar la fontele cu grafitul lamelar, adâncimea obținută este doar de 0,1 mm.

Stratul silicizat are o fragilitate accentuată.

#### 6.2.4. Aluminizarea fontelor

Se aplică în scopul măririi refractarității și eliminării fenomenului de creștere a pieselor din fonte cenușii maleabile și cu grafitul nodular.

Constă în încălzirea pieselor într-un amestec format din pulbere de feroaluminiu,  $Al_2O_3$  și 0,5-1%  $NH_4Cl$ , la 950-1000°C, un timp

de 5 - 8 ore.

Creșterea aderenței stratului aluminizat la miez și îmbunătățirea proprietăților stratului superficial, se realizează prin aplicarea unei recoaceri de difuzie la  $900-950^{\circ}\text{C}$ , timp de 2-3 ore, când adâncimea de difuzie crește, iar concentrația aluminiului în strat scade.

Stratul aluminizat nu posedă rezistență la uzare și este fragil. Se supun aluminizării, piesele din fontă ce trebuie să reziste la temperaturi înalte, fără să prezinte fenomenul de creștere a volumului cum sînt: oale de turnare, cochilii, grătare, focare, cutii de cementare, etc.

Fontele se supun cu rezultate bune și altor tratamente termochimice cum sînt: sulfizarea, difuzia simultană a cromului și siliciului, difuzia molibdenului etc.



## Cap.VII. TRATAMENTELE TERMICE ALE ALIAJELOR NEFEROASE

În afară de aliajele Fe-C, în tehnică se folosesc pe o scară tot mai largă metale și mai ales aliaje neferoase.

Industria de vîrf: electrotehnică, electronică, chimică, aerospațială și nucleară reclamă o gamă tot mai largă de materiale neferoase cu caracteristici chimice, fizico-mecanice și tehnologice superioare, caracteristici care de cele mai multe ori se obțin prin tratamente termice.

Materialele neferoase posedă un complex de proprietăți ce nu le au aliajele Fe-C cum sînt: greutate specifică mică sau foarte mare, refractaritate mare, rezistență la coroziune, rezistență la fluaj, rezistență la substanțe radioactive etc.

Tratamentele termice aplicate aliajelor neferoase, urmăresc îmbunătățirea proprietăților și sînt în funcție de natura, structura inițială și compoziția chimică a acestora.

Tratamentele termice aplicate aliajelor neferoase sînt, în general, aceleași ca și cele aplicate aliajelor Fe-C. Ele pot fi primare sau intermediare cînd urmăresc îmbunătățirea prelucrabilității pe cale mecanică (deformare plastică și aşchiere) sau chimică și finale cînd au drept scop creșterea proprietăților de exploatare. Aplicarea tratamentelor termice aliajelor neferoase, presupune cunoașterea diagramei de echilibru a aliajelor respective.

Aliajele neferoase se supun frecvent tratamentelor termice de recoacere, călire de punere în soluție sau de tip martensitic, îmbătrînire și revenire.

### 7.1. Recoacerea aliajelor neferoase

Reprezintă un tratament termic primar, intermediar sau final care urmărește omogenizarea compoziției chimice după turnare, recristalizarea structurii după deformare plastică la rece sau de-

tensionarea pieselor obținute prin diverse tehnologii (turnare, deformare plastică la rece, așchiere, etc.).

### 7.1.1. Recoacerea de omogenizare a aliajelor neferoase

Se aplică pieselor turnate în vederea eliminării segregăției dendritice, structurilor grosolane de solidificare și a stărilor în afară de echilibru obținute din transformări primare (solidificare).

Abaterile de la compoziția chimică (segregații) și de la structură (structuri grosolane și structuri în afară de echilibru obținute din solidificare) sînt cauzele plasticității reduse, a rezistenței mici la coroziune, instabilității structurii, apariția de microfisuri și crăpături, a deformabilității reduse și a unor proprietăți mecanice scăzute și neuniforme.

Segregațiile dendritice apar la solidificarea aliajelor monofazice răcite cu viteză mare sau care au un interval mare de solidificare, fig. 217. Structurile în afară de echilibru se obțin în aliajele cu solubilitate limitată, fig. 218.

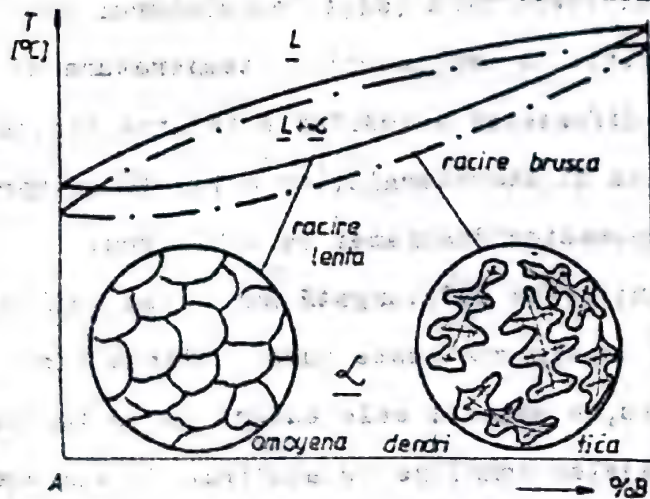


Fig. 217. Solidificarea aliajelor soluții solide la echilibru și în afară de echilibru.

Aceste defecte de solidificare apar frecvent în alame, bronzuri, aliaje de aluminiu binare și polinare, aliaje ale nichelului, aliaje ale magneziului, aliajele zincului și în aliajele titanului.

În unele din aceste aliaje, cum sînt cele monofazice pe bază de cupru, nichel, zinc și titan, neomogenitățile chimice și structurale se elimină ușor prin încălzi-



- 36 -

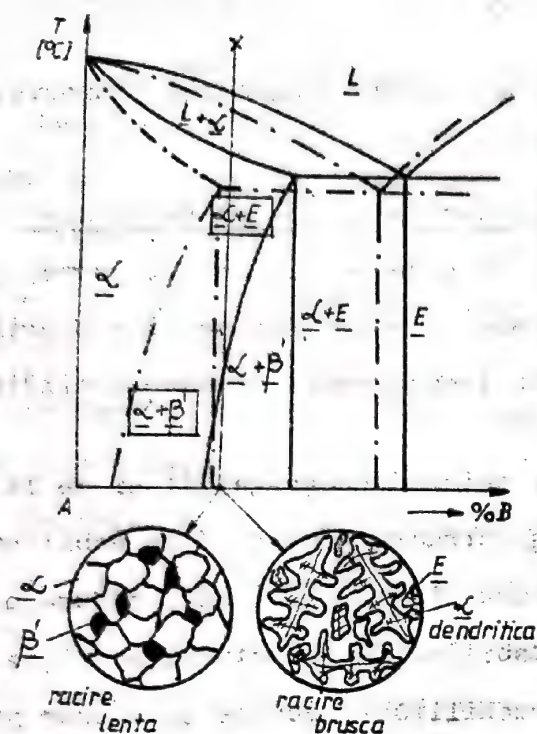


Fig. 218. Solidificarea aliajelor cu solubilitate limitată în afară de echilibru.

temperaturi apropiate de curba solidus ( $0,8-0,9 T_{\text{topire}}$ ), mențineri îndelungate, urmate de răciri cu viteză mică (odată cu cuptorul sau în aer), fig. 219. În timpul încălzirii și menținerii la temperatura de recoacere au loc fenomene de difuzie și autodifuzie în urma cărora se produce omogenizarea chimică și structurală, iar aliajele se apropie de echilibru stabil, corespunzător diagramei de echilibru.

Uneori, încălzirea și menținerea îndelungată sub curba solidus nu dă rezultate, se recurge la încălzirea peste curba solidus când unele faze în afară de echilibru, în special cele eutectice se topesc parțial. Astfel, este cazul aliajelor complexe de aluminiu de tip dur de aluminiu care încălzite 30-40 ore la  $500^{\circ}\text{C}$  nu se omogenizează complet fiind necesară creșterea temperaturii la  $520^{\circ}\text{C}$ .

Parametrii tehnologici ai recoacerii de omogenizare sînt în funcție de natura aliajelor.

ri la temperaturi coborîte efectuate în vederea deformării plastice la cald. Pentru aceste aliaje recoacerea de omogenizare nu este eficientă.

În aliajele neferoase bifazice pe bază de cupru, aluminiu, nichel și magneziu, neomogenitățile chimice și structurale nu pot fi eliminate decât prin aplicarea unei recoaceri de omogenizare.

Recoacerea de omogenizare constă din încălzirea pieselor sau lingurilor la tem-

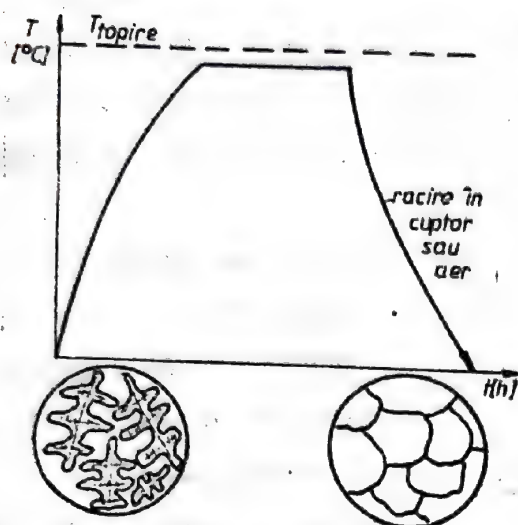


Fig. 219. Graficul recoacerii de omogenizare a aliajelor neferoase.

În tabelul 7.1. se dau regimurile recoacerii de omogenizare pentru câteva aliaje neferoase.

În urma recoacerii de omogenizare structura dendritică specifică aliajelor neferoase turnate dispăre și este înlocuită cu o structură globulară omogenă uneori, cu macule de recoacere.

#### 7.1.2. Recoacerea de recristalizare nefazică a aliajelor neferoase

Se aplică aliajelor neferoase deformate plastic la rece ecruisate, în scopul eliminării acestei stări.

Tabelul 7.1.

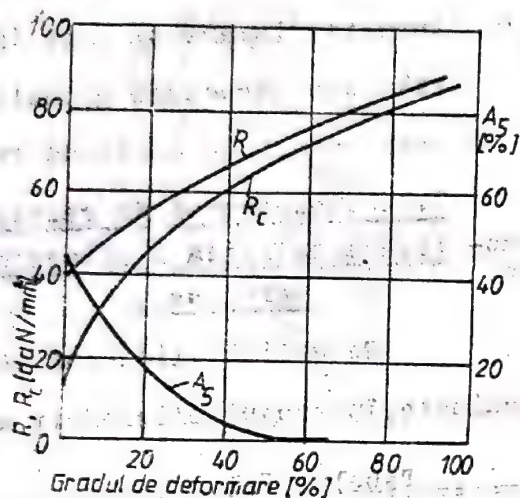
Tipul aliajului	Temperatura de început de topire	Parametrii recoacerii de omogenizare		
		T	t	medii de răcire
	°C	°C	h	
Alame și bronzuri monofazice	800-1000	600-800	2-4	aer
Bronz cu Sn 8-12%	840-860	700-750	1-2	aer
Bronz cu Al 10-12%	1030-1040	850-950	1-2	aer
Duralumin	510-520	490-500	8-26	aer
Aliaje Cu-Ni	1100-1200	300-950	1-2	aer
Aliaje Cu-Ni-Zn	850-950	750-800	1/2-1	aer
Aliaje Al-Zn-Mg-Cu	475-485	440-470	12-24	aer
Aliaje Al-Mg-Si-Cu	-	450-500	12-36	aer
Aliaje Al-Mn	654	600-640	8	aer
Aliaje de magneziu	-	370-400	18-24	aer

Prin deformare plastică la rece, majoritatea aliajelor neferoase se ecruizează, când grăunții devin alungiți, rețeaua cristalină se dis-



torsionează și valoarea tensiunilor interne crește. Toate aceste fenomene determină creșterea durității, rezistenței la rupere, scăderea plasticității și micșorarea prelucrabilității prin deformare plastică la rece și uneori chiar prin aşchiere.

Aceste efecte ale ecruisării sînt cu atît mai pronunțate cu cît gradul de deformare plastică este mai mare, fig. 220.



Recoacerea de recristalizare nefazică provoacă modificări în structura materialelor ecruisate sub aspectul modificării formei și dimensiunilor grăunților și al eliminării tensiunilor interne neantrenînd modificări de faze.

Deasemeni, recoacerea de re-

cristalizare aplicată după ecru-

Fig. 220. Variația proprietăților mecanice ale Ni cu gradul de deformare.

isare, este una a posibilitate

de modificare a proprietăților mecanice a aliajelor neferoase care nu prezintă transformări structurale în stare solidă, cum sînt aliajele monofazice în domeniul solid. În acest caz recoacerea de recristalizare este un tratament termic final.

Cînd prin recoacerea de recristalizare se urmărește restabilirea plasticității aliajelor neferoase ecruisate atunci este un tratament termic primar sau intermediar. Recoacerea de recristalizare se aplică și după deformarea plastică la cald cînd aceasta se termină la temperaturi coborîte și piesele rămîn cu urme de ecruisare.

Pe măsura creșterii temperaturii de încălzire în aliajele neferoase deformate se produc următoarele fenomene: restaurarea rețe-

lei cristaline cînd se elimină distorsiunile acesteia, poligonizarea cînd dislocațiile formează pereți de dislocații respectiv structură de blocuri în mozaic, germinarea cînd la limita dintre grăunții deformați se formează germenii noilor grăunți și coalescența cînd grăunții mari delimitați de suprafețe concave sau plane se dezvoltă înglobînd grăunții mici. Temperatura la care începe fenomenul de germinare se numește prag de recrystalizare și are valoarea  $T_{recr} = (0,2-0,6)T_{topire}$  măsurată în [K].

Recoacerea de recrystalizare constă în încălzirea pieselor sau semifabricatelor din aliaje neferoase ecruisate la temperaturi sub sau peste pragul de recrystalizare, în funcție de scopul urmărit, mențineri, urmate de răciri cu viteză mică, fig. 221.

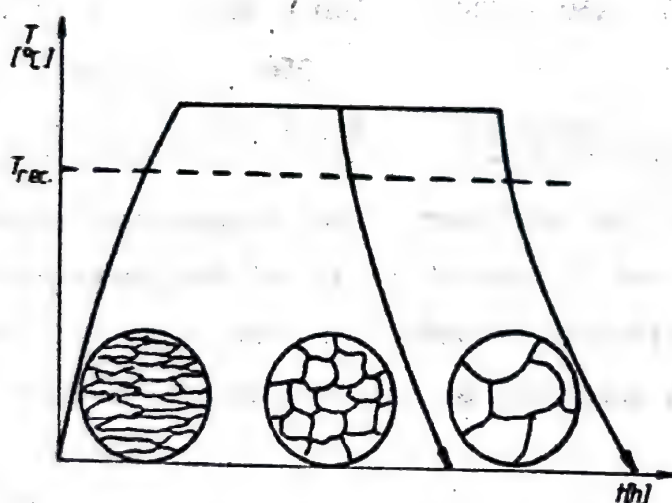


Fig. 221. Graficul recoacerii de recrystalizare a aliajelor neferoase.

Aliajele de aluminiu nedurificabile (Al-Mn; Al-Mg) și durificabile (Al-Cu, duraluminiul, etc) la pragul de recrystalizare cuprins între 200-300°C și se recoc pentru recrystalizare la temperaturi cuprinse între 350-400°C cu mențineri de cca o oră urmate de

răciri în aer.

Alamele și bronzurile monofazice au pragul de recrystalizare cuprins între 300-400°C și se recoc pentru recrystalizare la temperaturi cuprinse între 500-700°C.

Parametrii tehnologici ai recoacerii de recrystalizare a citorva metale și aliaje neferoase sînt dați în tabelul 7.2.



Tabelul 7.2.

Aliajul	Temperatura de recrista- lizare °C	Temperatura de recoace- re °C	Mediu de răcire
Al și aliajele de Al neduri- ficabile	200 - 300	350 - 420	aer
Al-Mn cu 1-1,5% Mn	200 - 300	500	aer
Al-Cu; Duraluminu	200 - 300	350 - 400	cuptor
Cupru	200	500 - 700	aer
Cu-Zn și Cu-Sn monofazice	300 - 400	500 - 700	aer
Cu-Al cu 10% Al	300 - 400	600 - 700	aer
Cu-Be cu 3% Be	300 - 400	500 - 600	aer
Cu-Cr și Cu-Ni cu peste 10% Ni	450 - 500	700 - 850	aer
Aliaje de Mg	-	350	aer
Aliaje de Ti	peste 450	550 - 750	aer

Cînd metalele și aliajele neferoase suferă transformări structurale în stare solidă și cînd în prealabil au fost deformate plastic la rece sau la cald prezentînd fenomenul de ecruisare, eliminarea efectelor ecruisării în acest caz se face printr-o recoacere de recristalizare fazăică.

### 7.1.3. Recoacerea de detensionare a aliajelor neferoase

Se aplică pieselor din aliaje neferoase obținute prin turnare, deformare plastică, sudare, așchiere sau tratamente termice, în scopul eliminării tensiunilor interne. Tensiunile interne de valori mari provenite din procesele tehnologice de fabricație duc la modificarea formei, dimensiunilor și chiar la distrugerea pieselor în timpul prelucrării mecanice sau în timpul exploatării. La aliajele neferoase temperaturile și duratele de menținere la detensionare sînt mici.

tabelul 7.3.

Tabelul 7.3.

Aliajul	Temperatura °C	Durata h
Cupru tehnic	150	0,5
Alame monofazice	200 - 270	1
Alame speciale	285 - 350	1
Bronzuri cu 5-10% Sn	200	1
Aluminiu tehnic	150	0,5
Aliaje de aluminiu turnate	280 - 300	2-5
Aliaje de magneziu	200	3-5
Nichel și Ni-Cu	300	1-3
Titan	500	0,5-1
Aliaje de titan	550 - 600	0,5-1

Viteza de răcire la recoacerea de detensionare este redusă pentru a preveni formarea din nou a tensiunilor interne.

## 7.2. Călirea aliajelor neferoase

Aliajele neferoase, în funcție de natura lor și de tipul transformărilor structurale ce au loc în stare solidă se pot trata termic prin călire de tip martensitic și prin călire de punere în soluție.

### 7.2.1. Călirea de tip martensitic a aliajelor neferoase

Se aplică aliajelor neferoase care prezintă transformări eutectoidice cum sînt: bronzuri de aluminiu, aliaje de titan, etc. Călirea de tip martensitic, se aplică aliajelor neferoase în același scop ca și aliajelor Fe-C, adică de creștere a durității și modificarea caracteristicilor fizico-mecanice prin obținerea unei soluții solide suprasaturate în element dizolvat, în afară de echilibru asemănătoare



martensitei din oțeluri și fonte.

Călirea martensitică a aliajelor neferoase este tipică bronzurilor de aluminiu cu 10-14% Al, care prezintă o transformare eutectoidă la temperatura de  $565^{\circ}\text{C}$  ( $\beta \rightleftharpoons \alpha + \gamma''$ ), fig. 222. Eutectoidul ( $\alpha + \gamma''$ )

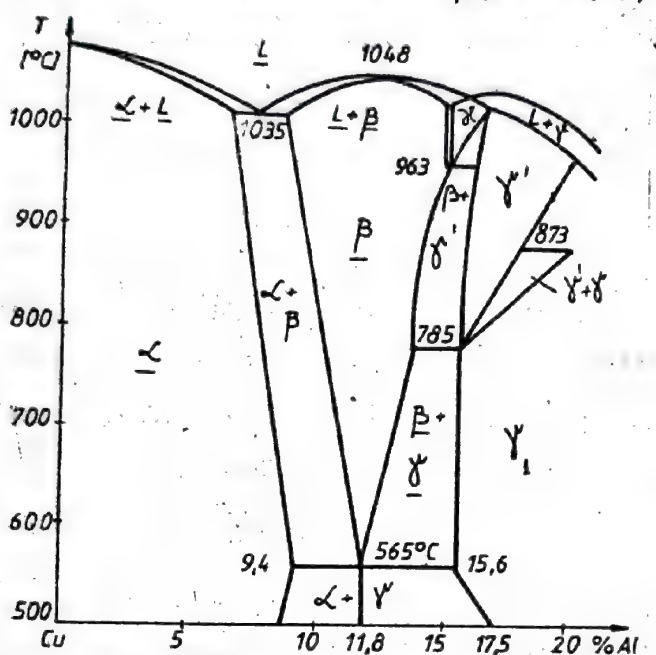


Fig. 222. Diagrama de echilibru a bronzurilor de aluminiu.

se obține la concentrația de 11,8% Al și are o structură la echilibru asemănătoare perlitei din oțeluri. Călirea martensitică a aliajelor Cu-Al constă din încălzirea lor la temperaturi  $650-700^{\circ}\text{C}$ , menținere de 1-2 ore pentru omogenizarea fazei  $\beta$  (AlCu<sub>3</sub>) și răcirea cu viteză mai mare de  $1^{\circ}\text{C}$  pe minut. În urma căli-

rii, în aceste aliaje se obține o structură aciculară formată din faza  $\beta$  suprasaturată în Al, metastabilă, dură ce are rețea hexagonală, prezintă un volum specific mare și tensionează puternic rețeaua.

Diagrama TTT și graficul de călire martensitică a aliajelor Cu-Al eutectoide (11,8% Al) este dat în fig. 223.

În urma călirii, aceste aliaje sînt foarte fragile, datorită prezenței în structură a fazei AlCu<sub>3</sub> pe lângă soluția solidă  $\alpha$  (aliaje hipoeutectoide) sau compusul  $\delta$  (aliaje hipereutectoide). Din acest motiv aliajele neferoase în stare călită martensitic nu se utilizează, ele se supun operației de revenire ca și aliajele Fe-C.

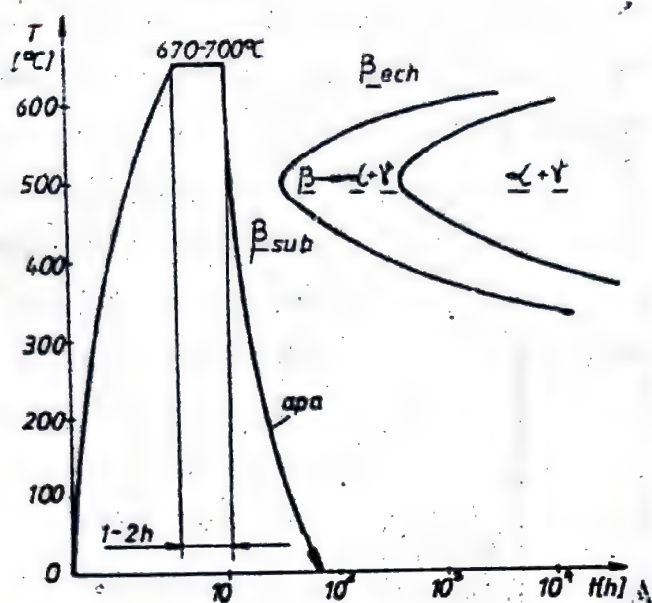


Fig. 223. Graficul de călire și diagrama TTT a aliajului eutectoid Cu-Al cu 11,8% Cu.

De observat că operația de călire martensitică la aliajele neferoase nu este la fel de răspîndită ca la aliajele Fe-C deoarece modificarea proprietăților mecanice nu este la fel de spectaculoasă.

### 7.2.2. Călirea de punere în soluție a aliajelor neferoase.

Reprezintă cea mai răspîndită operație de tratament termic aplicată aliajelor neferoase care prezintă

în stare solidă transformări secundare bazate pe variația solubilității cu temperatura: Al-Cu, Al-Mg, Al-Zn, Al-Cu-Mg, Al-Mg-Si; Mg-Al; Mg-Zn; Mg-Al-Zn; Ni-Cr; Cu-Be; Cu-Si; Cu-Ni-Al; Ti-Al; Ti-Cr; Ti-V și altele.

Constă din încălzirea și menținerea aliajului bifazic sau polifazic la temperaturi situate deasupra liniei de variație a solubilității, cînd compuşii intermetalici se dizolvă în soluția solidă de bază, realizînd omogenizarea acestora, urmate de răcire cu viteză mare, cînd se obține o soluție solidă subrăcită și suprasaturată în element dizolvat, în stare metastabilă.

Caracteristic acestui tratament termic este călire de punere în soluție a aliajelor de Al-Cu, Cu-Be și Cu-Cr, aliaje la care se obțin cele mai spectaculoase modificări de proprietăți.

Aliajele de Al-Cu au o diagramă de echilibru cu transformări



secundare datorate variației solubilității cuprului în aluminiu de la 0,5 la 5,65% Cu odată cu variația temperaturii de la 20 la 548°C, fig.224 a

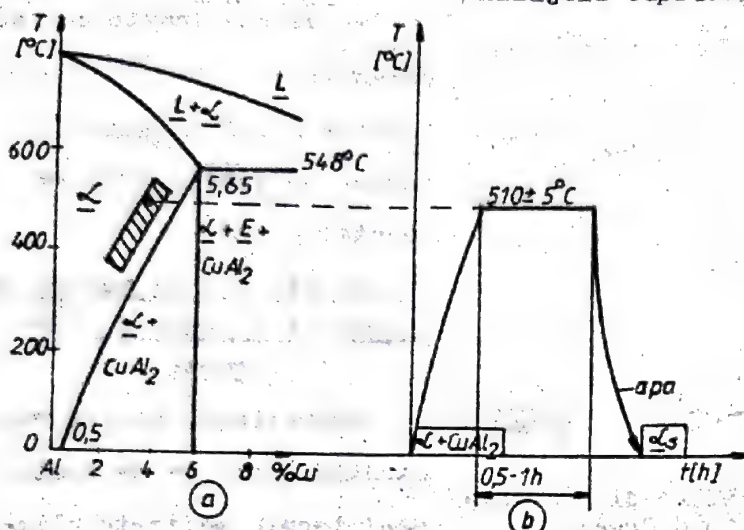


Fig.224. Diagrama de echilibru a aliajelor Al-Cu (a) și graficul călirii de punere în soluție (b)

prin deformare plastică. Prin călirea de punere în soluție care constă în încălzire în domeniul soluției solide omogene (hașurat), menținere și răcire bruscă, fig.224 b aceste aliaje se înmoaie, deoarece se obține o structură omogenă formată din soluție solidă moale și tenace. Temperatura de încălzire trebuie riguros respectată pentru a nu atinge curba solidus, ea este de  $510 \pm 5^\circ\text{C}$ .

Menținerea la temperatură este de cca 0,5-1 oră, iar răcirea se face în apă sau în apă caldă pentru piese cu complexitate mare a formei. Efectul călirii de punere în soluție este cu atât mai intens cu cât aliajul are o concentrație mai apropiată de limita maximă de solubilitate - 5,65% Cu.

Bronzurile cu beriliu (Cu-Be), au o variație a solubilității de la 0,2% Be la 20°C până la 2,7% Be la 866°C, fig.225 a. În stare de echilibru (recoaptă) aceste aliaje sînt foarte dure datorită

aliajele cuprinse între concentrațiile 0,5% Cu și 5,65% Cu în stare de echilibru (recoapte) au structura formată din soluția solidă moale și tenace și compusul chimic  $\text{Al}_2\text{Cu}$  dur și fragil. În această stare, aliajele respective sînt dure, fragile și nu se pot prelucra

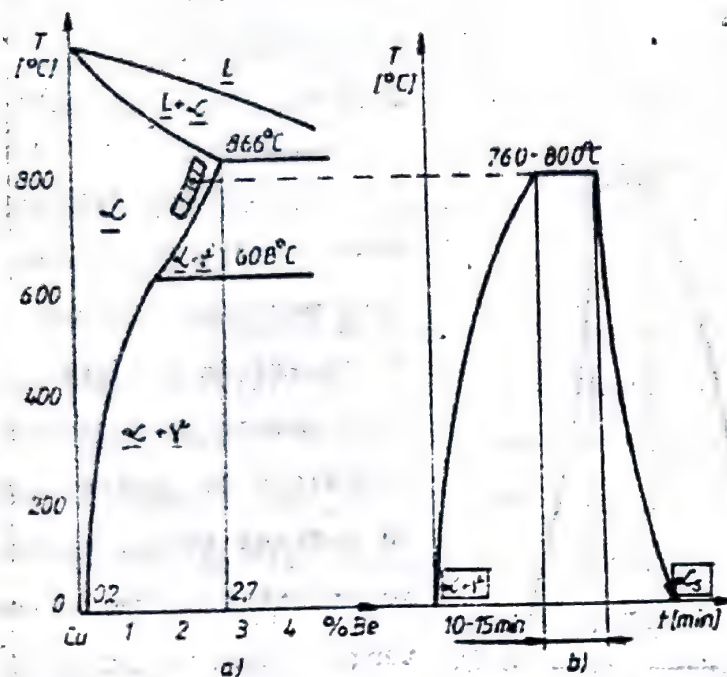


Fig.225. Diagrama de echilibru a aliajelor Cu-Be și graficul de călire de punere în soluție a aliajului cu 2,5% Be.

prezenței fazei secundare  $\delta$  (CuBe) dură și fragilă.

Călirea de punere în soluție constă în încălzirea aliajelor cu utilitate practică (2-2,5% Be), în domeniul de temperaturi 760-800°C, mențineri scurte 10-15 minute urmate de răcire în apă, fig.225 b. Se re-

comandă încălzirea în atmosfere protectoare pentru a evita oxidarea aliajului. În urma călirii de punere în soluție se obține în aceste bronzuri o soluție solidă suprasaturată în Be moale și tenace, care se deformează plastic cu ușurință.

Bronzurile cu crom (Cu-Cr) prezintă o variație a solubilității în stare solidă de la 0,01% Cr la 20°C până la 0,65% Cr la 1070°C, fig.226 a. Bronzurile cu crom utilizate în practică (peste 0,4% Cr) se încălzesc pentru călire de punere în soluție la 1000 ± 20°C, se mențin un timp de 1,5-2 ore apoi se răcesc în apă, fig.226 b, când se obține o soluție solidă omogenă și suprasaturată înafară de echilibru moale și tenace.

Călirea de punere în soluție se aplică aliajelor neferoase în două scopuri: micșorării durității în vederea deformării plastice la rece sau în vederea aplicării ulterioare a unui tratament termic de îmbătrânire prin care duritatea, rezistența la rupere și rezistența la uzură cresc foarte mult.



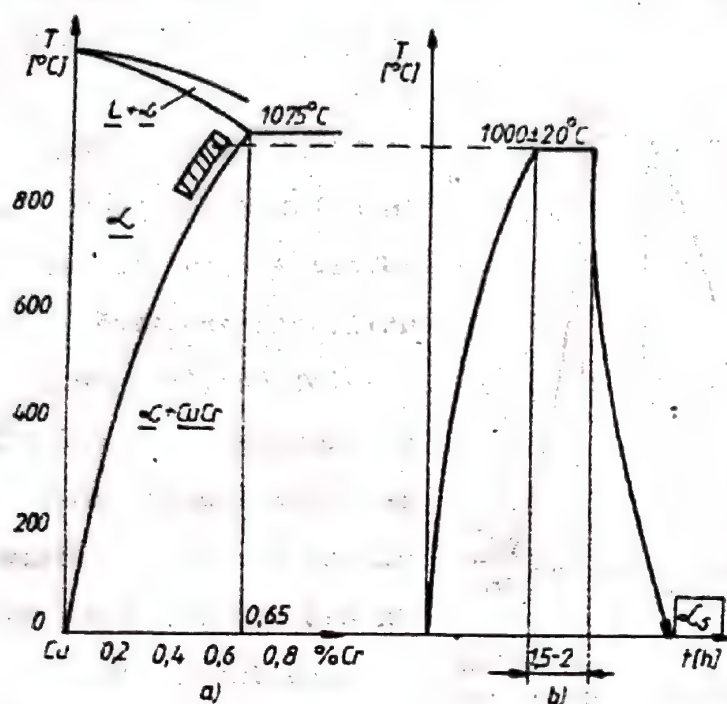


Fig.226. Diagrama de echilibru a aliajelor Cu-Cr și graficul de călire de punere în soluție a aliajului cu 0,5% Cr.

### 7.3. Revenirea și îmbătrânirea aliajelor neferoase

Intotdeauna tratamentele termice de călire martensitică sau de punere în soluție sînt urmate de revenire respectiv de îmbătrînire în vederea îmbunătățirii proprietăților de rezistență mecanică. Aliajele neferoase care prezintă

transformări eutectoide, după călirea martensitică se revin la tempera-

turi situate sub temperatura transformării eutectoide, cînd duritatea scade și fragilitatea se micșorează. Astfel, bronzurile de aluminiu cu 10-14% Al se revin la temperaturi imediat sub 565°C cînd se obțin valori ridicate ale rezistenței la rupere și rezilienței.

Aliajele neferoase care prezintă variații ale solubilității în stare solidă, după călirea de punere în soluție se supun tratamentului termic de îmbătrînire, în urma căruia aliajele se durifică prin precipitarea din soluția solidă suprasaturată a fazelor secundare intermetalice foarte dure.

Îmbătrînirea poate avea loc la temperatura ambiantă într-un timp lung (zile-luni) cînd se numește îmbătrînire naturală sau prin încălziri la temperaturi situate sub linia de variație a solubilității, într-un timp scurt, cînd se numește îmbătrînire artificială.

Îmbătrânirea fără energie de activare (naturală) sau cu energie de activare (artificială), realizează precipitarea fazelor secundare ( $Al_2Cu$ ,  $CuBe$ ,  $CuCr$  etc.), inițial coerente la matrice (soluția solidă) iar în final incoerente, datorită creșterii dimensiunilor acestora.

Precipitarea acestor faze dure, este cauza creșterii durității și a rezistenței la rupere și scăderii plasticității aliajelor neferoase. Odată cu creșterea temperaturii de încălzire proprietățile de rezistență scad, iar cele de plasticitate cresc datorită coagulării precipitatelor cauzată de intensificarea fenomenelor de difuzie.

Parametrii tehnologici ai îmbătrânirii se determină în funcție de natura aliajului și de caracteristicile mecanice dorite.

Îmbătrânirea aliajelor de aluminiu durificabile prin precipitare se realizează prin încălziri sub  $190^{\circ}C$  în băi de ulei, mențineri de 4-10 ore și răcire în apă. Durata între călirea de punere în soluție și îmbătrânire trebuie să fie cât mai scurtă.

Rezistența la rupere a aliajelor de Al-Cu este funcție de temperatura și timpul de menținere la îmbătrânire, fig. 227.

În fig. 228 este dat ciclul complet de tratament termic de durificare a aliajului  $AlMgSiCu$ .

Duraluminiul  $AlCu_4SiMg$  se durifică astfel: se încălzește la  $500-510 \pm 5^{\circ}C$  unde se menține 1-1,5 ore, apoi se răcește în apă, când se obține o soluție solidă moale și tenace după care se încălzește la  $165^{\circ}C$  un timp de 6-8 ore, iar în final se răcește în apă. După un astfel de tratament termic complex duraluminiul va avea proprietățile:  $R = 50 \text{ daN/mm}^2$ ;  $R_c = 42 \text{ daN/mm}^2$ ;  $HB = 120-130$ .

Deformarea plastică la rece sau la cald se aplică întotdeauna între călirea de punere în soluție și îmbătrânire. Acest lucru asigură caracteristici mecanice finale superioare.



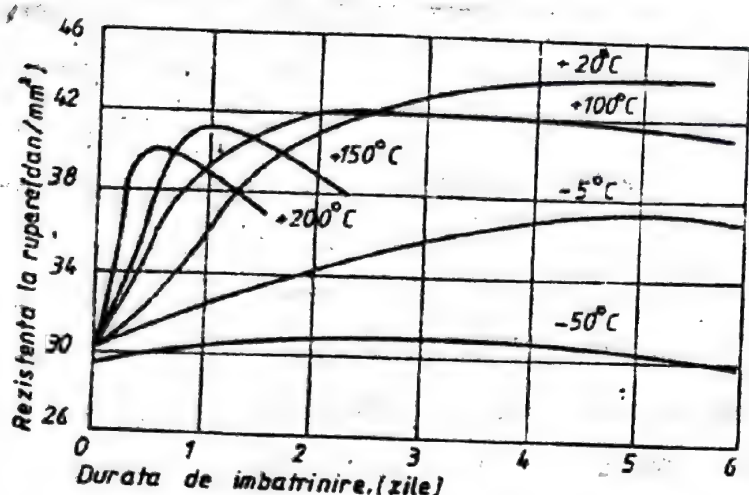


Fig. 227. Dependenta rezistenței la rupere funcție de temperatura și durata de îmbătrânire a duraluminiului Al-Cu-Mg.

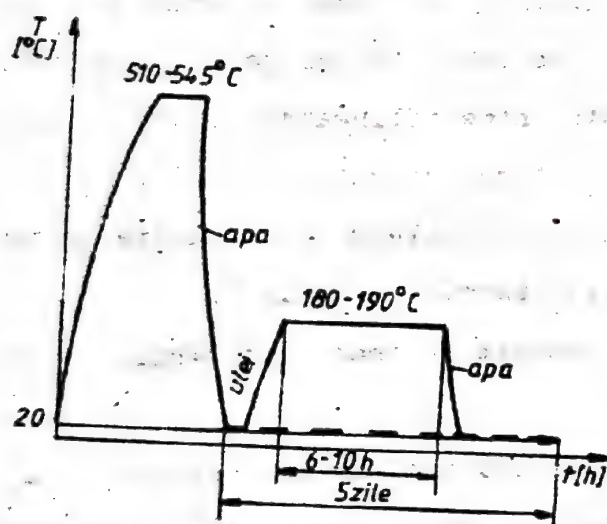


Fig. 228. Tratatamentul termic de durificare a duraluminiului AlMgSiCu

Cind operația de îmbătrânire nu reușește, aliajele se supun din nou călirii de punere în soluție și efectuării îmbătrânirii. Fenomenul de întoarcere a unui aliaj îmbătrânit la starea de după călire se numește reversiune.

Imbătrânirea bronzurilor cu Be se rea-

lizează prin încălzire la 320°C un timp de 2 ore și răcire în aer cind se obțin proprietăți de rezistență și duritate maxime. Pentru aliajul Cu-Be cu 2% Be astfel tratat termic se obțin:

$$R = 130-140 \text{ daN/mm}^2;$$

$$R_c = 128 \text{ daN/mm}^2; A_5 = 1-2\% \text{ și}$$

$$HB = 350-370.$$

Bronzurile cu crom se îmbătrânesc la temperaturi de 450-500°C cu menținere de 4-5 ore urmate de răcire în aer, cind se obțin durități de pînă la 150 HB.

Călirea de punere în soluție urmată de îmbătrânire constituie singura cale de modificare spectaculoasă de proprietăților mecanice a unui număr mare de aliaje neferoase.

Cap.VIII.TEHNologii SPECIFICE DE TRATAMENT TERMIC  
SI TERMOCHIMIC APLICATE SCULELOR SI PIESELOR IN

CONSTRUCTIA DE MASINI

8.1 Tratamente termice și termochimice aplicate sculelor

Diversitatea mare de materiale metalice supuse prelucrărilor mecanice prin așchiere sau deformare plastică, impun utilizarea unei game largi de scule care trebuie să posede complexe proprietăți fizice, mecanice și tehnologice. Astfel, sculele trebuie să posede o duritate superioară materialelor de prelucrat pentru a asigura o rezistență a sculei la tensiunile de contact ce apar pe partea de lucru și o rezistență mare la uzare prin frecare.

Oțelurile de scule trebuie să aibă o rezistență ridicată la deformări plastice mici, trebuie să aibă tenacitate ridicată, stabilitate la cald, rezistență la șoc termic, conductibilitate termică bună, călibilitate mare, capacitate bună de șlefuire, stabilitate față de supraîncălzire, stabilitate față de decarburare și oxidare superficială, susceptibilitate redusă la deformare și la apariția fisurilor. Aceste caracteristici ale oțelurilor de scule, au valori mai mari sau mai mici în funcție de destinația sculelor și de calitatea oțelurilor. Caracteristicile fizico-mecanice și tehnologice ridicate ale oțelurilor de scule sunt obținute prin aplicarea de tratamente termice și termochimice.

Sculele au rolul principal de a prelucra materialele metalice și nemetalice la rece sau la cald.

În funcție de natura prelucrărilor mecanice sculele pot fi: scule așchietoare, pentru deformare plastică la rece, pentru deformare plastică la cald, pentru măsurat și verificat.

Oțelurile destinate sculelor pot fi: oțeluri carbon, oțeluri aliate pentru scule și oțeluri bogat aliate de scule (rapide).



### 8.1.1. Tratamente termice aplicate oțelurilor pentru scule așchietoare

Sculele așchietoare constituie o grupă de scule destinate să prelucraze materialele metalice și nemetalice prin eliminare de așchii, în condiții deosebit de grele, fapt ce impune folosirea unor materiale cu caracteristici mecanice superioare. Sculele așchietoare se caracterizează prin forme complexe, cu treceri bruște de la o secțiune la alta și prin dimensiuni foarte variate.

Caracteristica principală a oțelurilor de scule pentru așchiere este duritatea ridicată care asigură o durabilitate mare.

Duritatea și rezistența mare la uzare a oțelurilor de scule sunt realizate prin conținutul ridicat în carbon al oțelurilor de scule, prin alierea oțelurilor cu elemente durificatoare și prin aplicarea corectă a unei game variate de tratamente termice. Sculelor așchietoare li se aplică atât tratamente termice primare (când sunt sub formă de semifabricate) cât și tratamente termice finale.

Tratamentul termic final al sculelor așchietoare constă din călire și revenire. Parametrii tehnologici ai tratamentului termic se aleg în funcție de natura oțelului, de forma, dimensiunile și destinația sculelor precum și tipul producției de scule.

#### 8.1.1.1. Tratamentele termice aplicate oțelurilor carbon de scule

Oțelurile carbon de scule au un conținut de carbon cuprins între 0,65 - 1,45% C, conțin de asemenea între 0,15-0,35% Mn și Si. Duritatea ridicată (62-66 HRC) obținută prin tratament termic, conferă acestor oțeluri o rezistență bună la uzare și o durabilitate bună.

Structura oțelurilor carbon de scule după tratamentul termic final este formată din martensită de revenire în care se află particole fine sau o rețea fină de cementită.

Din oțelurile carbon de scule pentru așchiere (OSC 8; OSC8M; OSC10; OSC11; OSC13) se execută scule de tâmplărie, burghie, filiere, tarozi, pinze de fierăstrău, cuțite de strung, freze, alezoare, pile, etc.

Oțelurile carbon de scule pe lângă avantajele că sînt ieftine, se prelucerează mecanic și termic cu ușurință, prezintă și unele dezavantaje: au călibilitate mică (2-12 mm), sînt sensibile la supraîncălzire și la deformare și au o stabilitate termică redusă (200-300°C).

Oțelurile carbon de scule se supun la două tipuri de tratamente termice: finale și preliminare. Tratamentele termice preliminare au drept scop obținerea de perlită globulară care asigură o prelucrabilitate ușoară prin așchiere și o austenitizare omogenă la tratamentul termic final.

Tratamentul termic preliminar constă în general dintr-o recoacere de globulizare a structurii (înmuiere) care se face prin încălzire la 740-780°C, menținere urmată de răcire lentă (30°C/h) pînă la 560°C apoi în aer. Duritatea obținută în urma acestui tratament termic preliminar este de 170-220 HB. Uneori între deformarea plastică la cald (forjare, matrițare) și recoacerea de înmuiere, oțelurile carbon de scule se supun unei recoaceri de normalizare, care constă în încălzirea oțelurilor la 860-900°C, menținere urmată de răcire în aer. Acest tratament asigură, ulterior, o globulizare perfectă a structurii.

Tratamentul termic final se aplică sculelor prelucrate, înainte de a fi ascuțite, avînd drept scop obținerea unei structuri martensitice cu cementită, care conferă oțelurilor duritate și rezistență la uzare mari. Tratamentul termic final la sculele așchietoare din OSC constă din călire în apă (OSC 7; OSC8; OSC8M; OSC10), apă sau ulei (OSC11; OSC13) de la 760-820°C urmată de o revenire



joasă la 150-300°C cu o menținere de 1/3-4 ore în funcție de duritatea și tenacitatea impuse sculelor.

După călire se obține o duritate de 60-66 HRC, iar după revenirea joasă duritatea scade la 58-64 HRC, fig. 229. După revenire

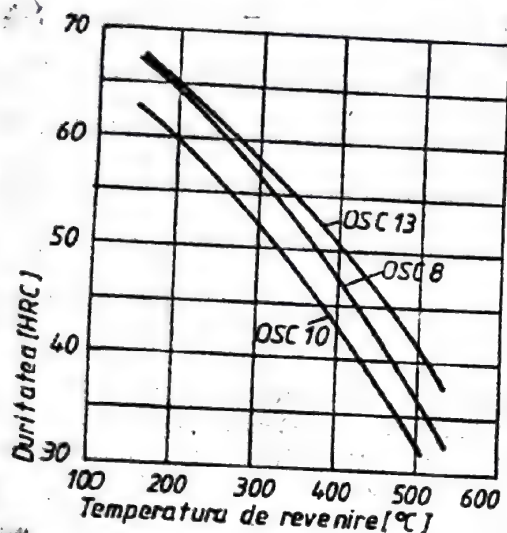


Fig. 229. Variația durității oțelurilor carbon de scule cu temperatura de revenire.

sculele sînt parțial detensionate.

Oțelurile carbon de scule, avînd mult carbon, sînt foarte sensibile la fisurare în timpul călirii, de aceea sculele cu formă complexă se cîlesc în două medii (apă și ulei) sau în trepte, cînd se mențin deasupra lui  $M_s$  un timp pentru egalizarea temperaturii în toată masa și apoi se răcesc cu orice viteză.

Oțelurile carbon de scule destinate confecționării pilelor (OLC60-STAS 888-80; OSC13-STAS 1700-80; 15 Cr08-STAS 791-80) se cîlesc în apă de la 750-820°C, fără a se reveni. Pilele sînt scule cu formă simplă care nu sînt solicitate mecanic, ele trebuind să poseze duritate maximă, motiv pentru care acestea nu se supun revenirii.

Oțelurile carbon de scule destinate prelucrării materialelor nemetalice (OSL4; OSL8; OSL10; OSL4Cr; OSL5Cr; OSL6Cr-STAS 1699-76) se cîlesc în apă de la 760-1020°C, apoi se supun unei reveniri joase sau medii la 100-420°C cu răcire în aer.

Pentru a se evita deformările ce apar în timpul încălzirii sau răcirii, sculele subțiri (burghie lungi, freze disc cu diametru mare, pinze de fierăstrău alternativ sau circular etc.) se cîlesc în dispozitive speciale.

Intrucit sculele aşchietoare trebuie să aibă o duritate mare la partea activă şi o tenacitate bună pentru corp sau suport, acestea se pot trata termic selectiv: călire urmată de revenire joasă pentru partea activă şi călire urmată de revenire înaltă pentru corp sau suport.

Parametrii de tratament termic preliminar şi final ai oţelurilor carbon de scule aşchietoare sînt daţi în tabelul 8.1.

Tabelul 8.1.

Oţelul	Recoacerea de înmuiere		Norma- lizarea	C ă l i r e			Revenire	
	T [°C]	HB		T [°C]	T Mediu [°C]	HRC	T [°C]	HRC
OSC 8	780	187	800-820	780-800	apă	60-65	150-300	58-62
OSC 8M	780	187	800-820	780-800	apă	61-64	150-300	58-62
OSC 10	790	197	820-840	760-780	apă	62-65	150-300	58-62
OSC 11	790	207	830-850	760-780	apă (ulei)	62-65	150-300	58-62
OSC 13	790	217	880-900	760-780	idem	62-66	150-400	58-64
OSL 4	740-800	-	-	790-820	apă	-	200-250	-
OSL 8	730-800	-	-	760-820	apă	-	220-260	-
OSL 10	710-780	-	-	760-820	apă	-	200-240	-
OSL 4Cr	750-780	-	-	980-1020	ulei	-	100-420	-
OSL 5Cr	750-780	-	-	980-1020	ulei	-	100-420	-
OSL 6Cr	770-810	-	-	980-1020	ulei	-	100-420	-

#### 8.1.1.2. Tratamentele termice aplicate oţelurilor aliate de scule aşchietoare

Alierea oţelurilor cu Mn, Cr, Mo, V, W face ca duritatea, rezistenţa la uzare, stabilitatea termică şi călibilitatea oţelurilor să crească. Deasemeni prin aliere se micşorează tendinţa spre supraîncălzire şi tendinţa de deformare la călire.



În urma tratamentului termic final structura acestor oțeluri este formată din martensită, austenită reziduală, în care sînt distribuite cementită aliată și carburi ale elementelor de aliere.

Aceste oțeluri aliate pentru scule de așchiere conțin: 0,75-1,65%C; 0,15-1,9%Mn; 0,15-0,35%Si; 0,6-1,5%Cr; 1,2-2,2%W; 0,07-0,3%V și maxim 0,35%Ni. Din ele se execută scule ca: burghie, filiere, tarozi, alezoare, cuțite pentru finisare, broșe etc.

Tratamentul termic primar al acestor oțeluri constă într-o recălcire de înmuiere care se realizează prin încălziri la 700-850°C, cu răciri odată cu cuptorul, cînd se obțin durități de maxim 265 HB.

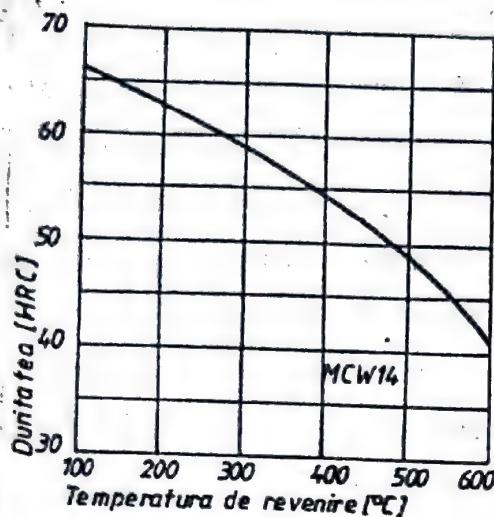
Cînd sculele se execută prin deformare plastică la cald, se recomandă după deformarea plastică o normalizare la 360-900°C cu răciri în aer.

Tratamentul termic final al oțelurilor aliate de scule așchietoare este asemănător oțelurilor carbon și constă din călire și revenire joasă.

Încălzirea pentru austenitizare trebuie efectuată cu o viteză moderată, deoarece aceste oțeluri au o conductibilitate termică mai scăzută decît oțelurile carbon. Timpul de menținere la temperatura de austenitizare trebuie să fie mic pentru a preîntîmpina decarburarea sculelor. În vederea încălzirii se recomandă folosirea atmosferelor protectoare sau a băilor de săruri. Călire se face în apă sau ulei de la temperaturi 750-780°C, cînd se obțin durități de 58-65 HRC.

După călire se aplică o revenire joasă 100-230°C cu răciri în aer, cînd duritatea crește la valori de 60-66 HRC.

Odată cu creșterea temperaturii de revenire a oțelului M3W14 peste 100°C duritatea scade (fig. 230), iar tenacitatea crește.



Parametrii tehnologici ai tratamentelor termice aplicate oțelurilor aliate de scule pentru așchiere sînt dați în tabelul 8.2.

#### 8.1.1.3. Tratamentele termice ale oțelurilor bogat aliate de scule așchietoare

Din această categorie fac parte oțelurile bogat aliate cu Cr

Fig. 230. Variația durității oțelului aliat de scule 97MnCrW14 cu temperatura de revenire.

și Rp10, care se numesc astfel datorită vitezei mari cu care sculele așchiază.

Tabelul 8.2.

Oțelul	Recoacere de înmuiere		Călire		Revenire	
	T [°C]	mediu HB	T [°C]	mediu HRC	T [°C]	mediu HRC
117VCr06	710-750	cuptor 220	810-840	ulei 58-60	100-400	aer 64-51
105CrW20	760-790	cuptor 228	800-825	ulei 61-62	150-230	aer 60-63
97MnCrW14	770-790	cuptor 255	800-830	ulei 61-62	160-220	aer 63-60
90VMn18	690-720	cuptor 242	750-780	ulei 60-62	180-250	aer 63-57
105CrW20	720-750	cuptor 230	890-920	ulei 60-62	450-600	aer 63-58

Aceste oțeluri fac parte din clasa ledeburitică, conținând 0,7-1,03%C; 0,1-4,5%Cr; 0,3-9,0%Mo; 1,0-19,5%W; 1,0-2,6%V și 0-6,0%Co.

Oțelurile bogat aliate de scule după tratamentul termic final prezintă proprietăți mecanice superioare: duritate ridicată, rezistență foarte mare la uzare și o stabilitate termică ridicată (peste 60 HRC la temperaturi de lucru de 600-650°C).

Datorită conținutului ridicat de elemente de aliere care



formează carburi (W,V,Mo,Cr), structura acestor oțeluri după turnare este constituită dintr-un câmp de perlită în care există o rețea de carburi asemănătoare ledeburitei, rețea care trebuie distrusă prin deformare plastică la cald în intervalul 1110-900°C.

Structura oțelurilor rapide după deformarea plastică la cald este formată din perlită sau perlită și ferită în care se află distribuite uniform sau în giruri carburi ale elementelor de aliere. Duritatea după deformarea plastică la cald este mare (550-650HB).

În vederea prelucrării prin așchiere, oțelurile rapide după deformare plastică, se supun unei recoaceri de înmuiere izotermă care constă în încălzire cu viteză redusă (20-30°C/h) până la 900°C, menținere 2-4 ore, urmată de răcire la 760-800°C, menținere la această temperatură 10-15 ore apoi răcire în aer liber. Structura rezultată în urma recoacerii de înmuiere este formată din sorbită globulară fină în care sînt repartizate uniform carburi primare și secundare ale elementelor de aliere. Duritatea după tratamentul termic primar este de circa 250 HB.

Tratamentul termic final clasic aplicat oțelurilor rapide constă dintr-o călire urmată de un ciclu de 2-3 reveniri, fig.231.

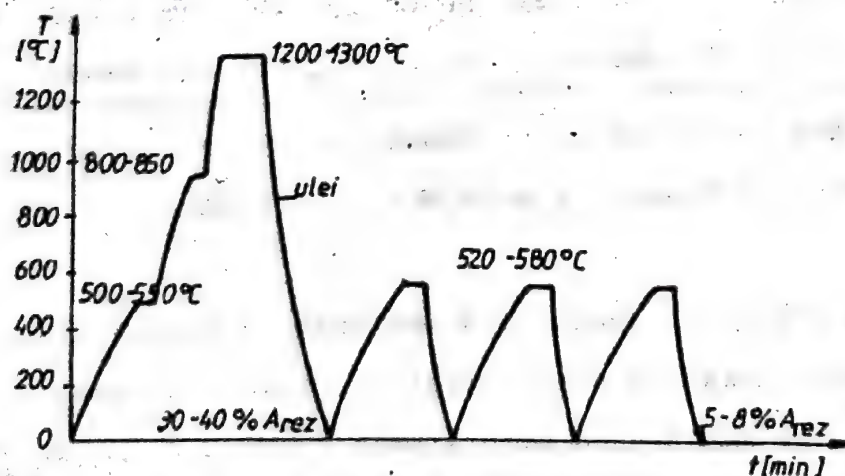
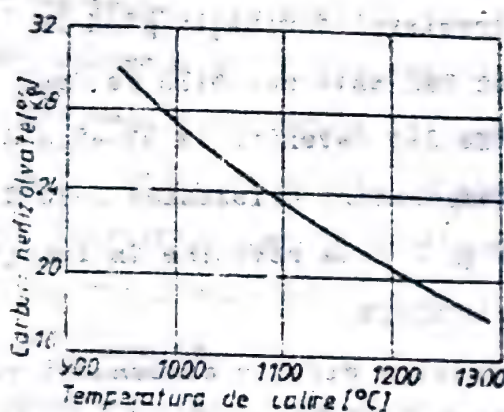


Fig.231. Diagrama de tratament termic clasic a oțelurilor rapide.

Încălzirea acestor oțeluri în vederea călirii are loc în băi de săruri în trepte, inițial cu viteză mică și apoi cu viteză mai mare, până la temperaturi

de 1200-1300°C. Treptele de încălzire au rolul de a egaliza temperatura în masa sculelor. Viteza mică de încălzire asigură eliminarea pericolului de fisurare a sculelor din aceste oțeluri care au o conductibilitate termică foarte redusă dată de prezența elementelor de aliere. În domeniul temperaturilor mari, viteza de încălzire poate fi ridicată, deoarece oțelul este plastic putând prelua tensiunile interne.

Temperatura de încălzire în vederea călirii, este foarte ridicată pentru a asigura un grad de omogenizare ridicat al austenitei prin dizolvarea unei cantități cât mai mari de carburi (fig. 232). Durata de menținere la temperatura



finală este scurtă (6-8 secunde pentru fiecare mm grosime a sculei). Acest lucru elimină pericolul decarburării suprafeței sculelor.

Fig. 232. Influența temperaturii de austenitizare asupra dizolvării carburilor.

Decarburarea sculelor din oțeluri rapide Rp3 și Rp5 încălzite timp de o oră la 1275°C respectiv la 1220°C, apreciată prin măsurarea microdurității este dată în fig. 233

De la temperatura de austenitizare oțelurile rapide se răcesc în ulei sau aer, deoarece aceste oțeluri au viteza critică de răcire foarte redusă (sînt autocălibile). După călire structura este formată din martensită, austenită reziduală (peste 30%) și carburi rămase nedizolvate la austenitizare. Duritatea după călire este de 60-61 HRC și este funcție de temperatura de încălzire (fig. 234).

Eliminarea cantității mari de austenită reziduală, însoțită



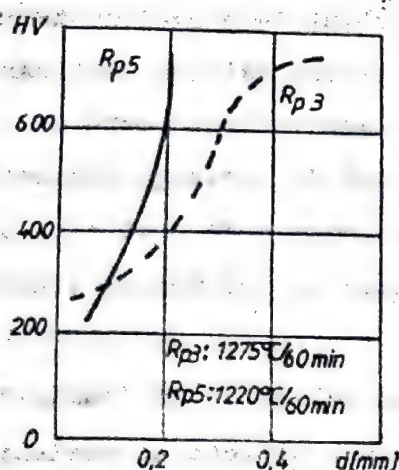


Fig. 233. Evidențierea decarburării la încălzire a oțelurilor rapide Rp3 și Rp5

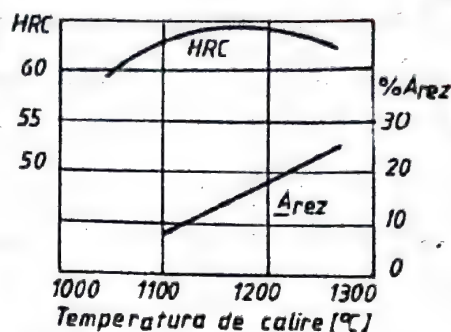


Fig. 234. Influența temperaturii de călire asupra durității și cantității de austenită reziduală în oțelurile rapide.

de creșterea durității până la 62-66 HRC este posibilă pe două căi: fie prin aplicarea unui ciclu de 2-3 reveniri la 520-580°C, fie prin aplicarea unei răcirii la temperaturi criogenice (-70°C) imediat după călire sau între prima și a doua revenire în funcție de solicitările la care sînt supuse sculele.

În procesul revenirii prin încălzire difuzia carbonului și a elementelor de aliere se intensifică, redistribuindu-se între cele trei faze existente (austenita, martensita și carburi). Încălziri până la 400°C determină separarea carbonului și a cromului și în cantități scăzute a molibdenului și wolframului, din martensită precipitînd fin dispers, cementită aliată cu crom, molibden sau wolfram. Spre sfîrșitul acestui interval cementita coagulează.

În domeniul temperaturilor de revenire 400-500°C, crește conținutul de crom în carburile precipitate, iar compușii de tipul cementitei se transformă în compuși tip carburi de crom. La temperaturi de revenire de 560-580°C separarea cromului, wolframului și molibdenului din martensită continuă, iar compușii de tip cementită se transformă total în compuși de Cr, W și Mo, cu disper-

sie fină și structură cristalină hexagonală. Tot în acest domeniu începe să separe din martensită, vanadiul formând carburi de vanadiu.

Austenita reziduală bogat aliată cu carbon și elemente de aliere, nu suportă nici o transformare prin încălzire pînă la 450-500°C. După aceste temperaturi, mărindu-se difuzia, din austenită separă carbon și elemente de aliere, care precipită sub formă de carburi. Astfel, austenita bogat aliată devine mai săracă în carbon și elemente de aliere (sensibilizată).

În timpul răcirii, în procesul de revenire austenita sensibilizată se transformă parțial, sub temperatura de 260° în martensită, fenomen cunoscut sub denumirea de călire secundară.

Fenomenele petrecute la încălzire și răcire sînt reluate la următoarele reveniri, astfel că austenita reziduală se micșorează la 5-8%. Revenirile repetate determină coagularea carburilor precipitate la revenirile anterioare și prin aceasta micșorarea proprietăților mecanice.

Dacă duritatea măsurată după călire scade odată cu creșterea temperaturii de austenitizare, duritatea măsurată după revenire crește cu creșterea temperaturii de austenitizare (fig. 235).

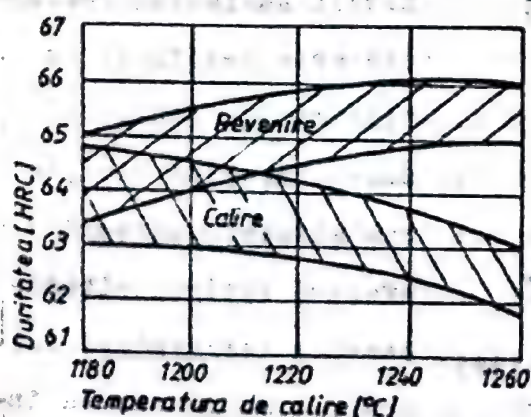


Fig. 235. Variația durității oțelurilor rapide după clire și după revenire funcție de temperatură de călire.

Duritatea după reveniri la diverse temperaturi pentru oțelul rapid Rp3 variază cu temperatura de revenire ca în fig. 236.

Variația durității și cantității de austenită reziduală cu numărul de reveniri este dată în fig. 237.



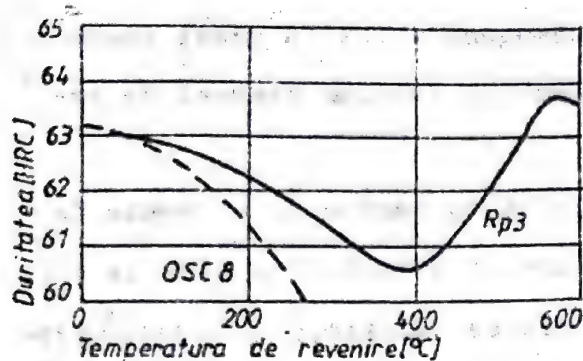


Fig. 236. Variația durității oțelului rapid Rp3 cu temperatura de revenire.

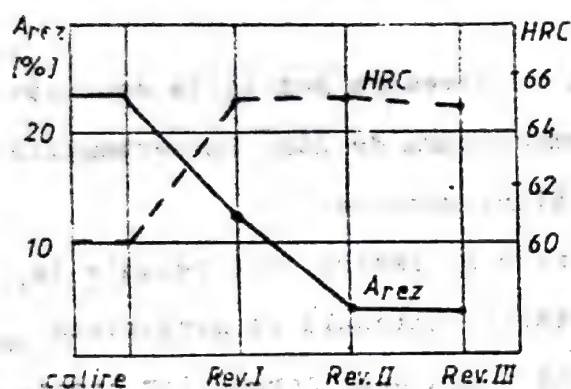


Fig. 237. Influența numărului de reveniri asupra durității și cantității de austenită reziduală din oțelurile rapide.

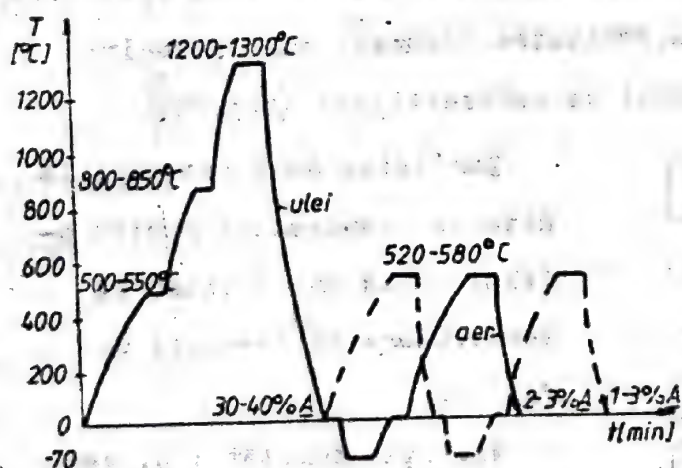


Fig. 238. Tratatamentul termic la temperaturi criogenice aplicat oțelurilor rapide.

treruperea între călirea în ulei și răcirea la temperaturi negative

Mult mai eficient, austenita reziduală din oțelurile rapide călite se poate elimina până la 1-3%, prin aplicarea unei răcirii la temperaturi criogenice ( $-70^{\circ}\text{C}$ ) imediat după călire sau între prima și a doua revenire (fig. 238). În

acast caz, structura este formată dintr-o cantitate sporită de martensită bogat aliată foarte dură, carburi fine uniform distribuite și foarte puțină austenită reziduală (1-3%). Duritatea după un astfel de tratament termic, este mai ridicată (66-67 HRC), rezistența la uzare și durabilitatea cresc deasemeni. Întrucât austenita reziduală prin mențineri la temperatura ambiantă, după clirea în ulei, se stabilizează, micșorând efectul răcirii ulterioare la temperaturi criogenice, se impune ca în-

să fie cât mai scurtă. Influența întreruperii răcirii la temperatura ambiantă asupra gradului de transformare al austenitei reziduale în martensită și asupra cantității de austenită reziduală după răcirea la diverse temperaturi a oțelului Rp3 rezultă din fig.239.

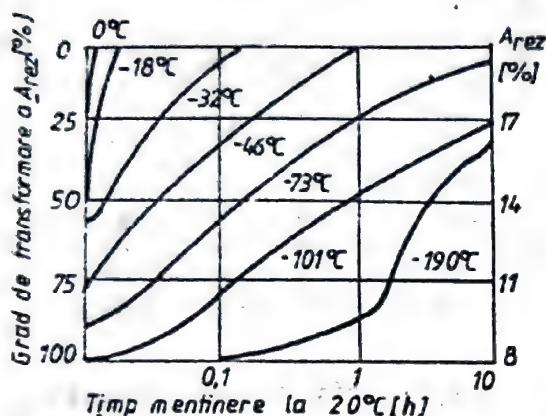


Fig.239. Influența întreruperii răcirii la temperatura ambiantă asupra gradului de transformare a austenitei în martensită la răcire criogenică.

Pentru sculele așchietoare solicitate în timpul lucrului la jocuri, precum și pentru sculele cu formă complexă, se preferă răcirea la temperaturi sub  $0^{\circ}\text{C}$  să se facă între două reveniri, pentru a se elimina pericolul formării de tensiuni interne mari care pot duce la fisurarea sculelor.

După răcirea la temperaturi criogenice se impune în mod obligatoriu aplicarea unei reveniri la  $560-580^{\circ}\text{C}$ , pentru a se elimina tensiunile interne și a se asigura o precipitare uniformă a carburilor fine de elemente de aliere.

Valoarea temperaturii criogenice de menținere a sculelor este în funcție de poziția punctului de sfârșit de transformare a martensitei  $M_S$  (diferit pentru fiecare oțel): cu cât temperatura de răcire scade apropiindu-se de valoarea punctului  $M_S$  cu atât duritatea oțelului rapid Rp3 crește (fig.240).

Variația punctelor critice  $M_S$  și  $M_f$  pentru oțelul Rp3 scade pe măsura creșterii temperaturii de călire (fig.241). Timpul de menținere la temperaturi criogenice trebuie să asigure egalizarea temperaturii în toată masa sculelor. Din fig.242 rezultă că mențineri de 5 minute sau de 5 ore a oțelului rapid Rp3 la temperaturi de  $-30^{\circ}\text{C}$  realizează aceeași duritate.



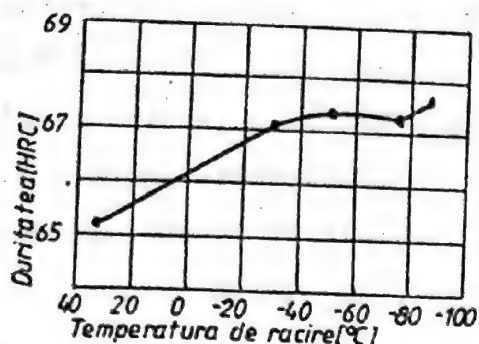


Fig. 240. Influența temperaturii de răcire sub 0°C asupra durității.

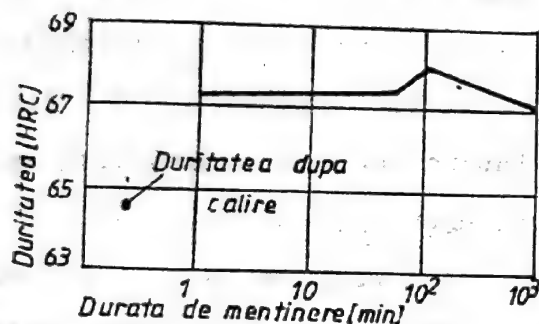


Fig. 242. Influența timpului de menținere la temperatura criogenică asupra durității.

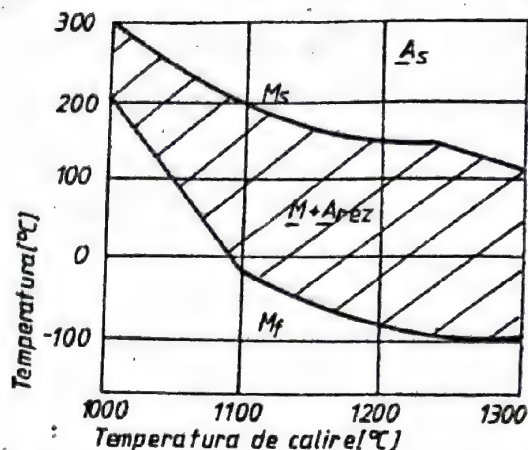


Fig. 241. Influența temperaturii de călire asupra punctelor critice de început ( $M_s$ ) și sfârșit ( $M_f$ ) de transformare martensitică.

Parametrii tehnologici ai tratamentelor termice primare și finale aplicate oțelurilor bogat aliate de scule aşchietoare sînt dați în tabelul

8.3.

Diagrama de tratament termic

Tabelul 8.3

Oțelul	Recoacerea de înmuiere		Călire			Revenire	
	T [°C]	HB	T [°C]	mediu	HRC	T [°C]	HRC
15oVMoCr12o	81o-84o	255	97o-10oo	ulei	58	1oo-25o	58-63
Rp1	79o-82o	24o-3oo	125o-13oo	ulei	6o	56o-58o	63-66
Rp2	79o-82o	26o-3oo	127o-13oo	ulei	6o	56o-58o	63-66
Rp3	8oo-83o	24o-3oo	127o-131o	ulei	6o	56o-58o	63-66
Rp5	8oo-83o	22o-27o	119o-123o	ulei	6o	54o-57o	63-66
Rp9	77o-84o	24o-3oo	118o-122o	ulei	6o	52o-55o	64-66
Rp10	77o-84o	24o-3oo	119o-123o	ulei	6o	53o-54o	64-66

complet pentru oțelul rapid Rp5 este dată în fig. 243.

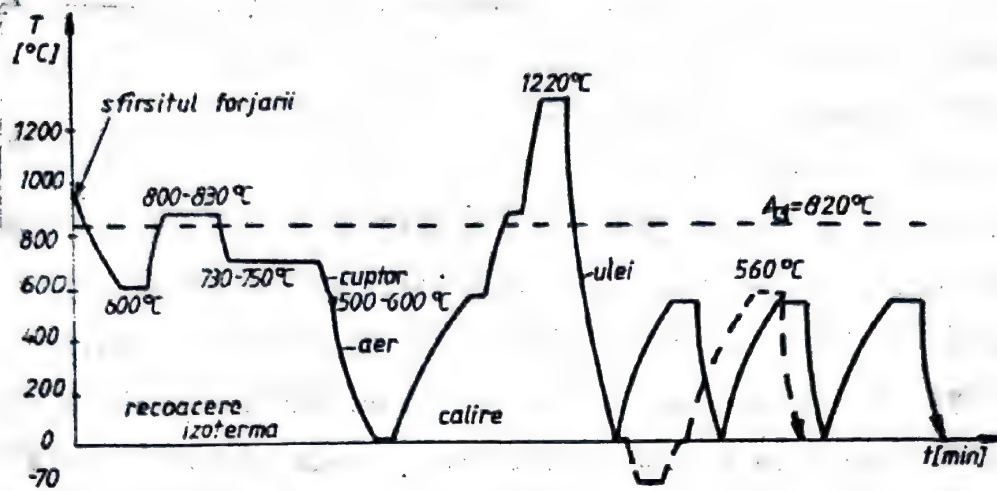


Fig. 243. Graficul de tratament termic preliminar și final al oțelului rapid Rp5.

Cînd, dintr-un motiv sau altul călirea nu a reușit (nu s-a obținut duritate suficientă), aceasta se poate repeta, după ce în prealabil se execută un tratament termic ce constă din încălzirea sculelor călite greșit la  $840-860^{\circ}\text{C}$ , menținere, răcire în ulei, urmată de o recoacere subcritică la  $680-720^{\circ}\text{C}$  cu răcire în aer, fig. 244.

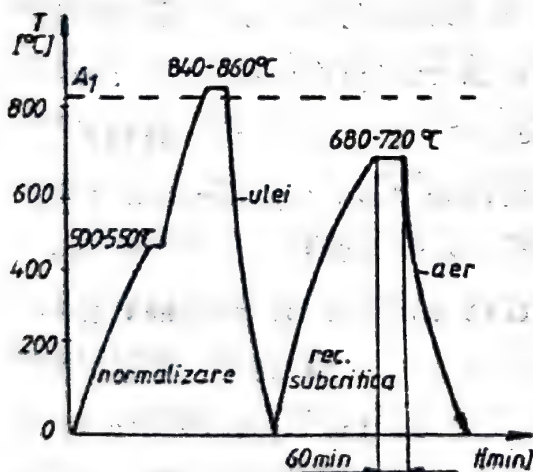


Fig. 244. Graficul de tratament termic intermediar la repetarea călirii.

Intrucît oțelurile rapide sînt scumpe, în practică sculele se execută cu suportți sau cozi din oțel carbon de calitate, de îmbunătățire sudate. În acest caz tratamentul termic este selectiv și constă din: călirea părții de lucru din oțel rapid a sculei cu încălzi-

re parțială în băi de săruri și răcire globală a sculei în ulei sau aer; reveniri globale ciclice sau tratament termic la temperaturi criogenice; călirea cozii cu încălzire parțială în băi



de săruri și răcire globală în apă sau ulei și revenirea înaltă a cozii prin încălzirea și răcirea globală în aer a sculei.

În cazul sculelor dintr-o singură bucată, coada sau suportul trebuie să posede o duritate mai scăzută (30-40 HRC) decât partea activă pentru a rezista mai bine la solicitările dinamice, deci pentru a avea o tenacitate mai ridicată.

Tratamentul termic în acest caz constă din: tratamentul termic al întregii scule până la duritatea necesară părții active, apoi revenirea suplimentară prin încălzirea suportului sau cozii sculei la 330-350°C, mențineri în băi de săruri un minut pentru fiecare milimetru grosime urmată de răcirea globală a sculei odată cu cuptorul.

La frezele cu diametru mare se călește superficial prin C.I.F. numai dantura, apoi se revine ciclic până la duritatea dorită după care se aplică un tratament pentru creșterea tenacității restului frezei. Sculele din oțeluri carbon și slab aliate se încălzesc pentru tratamentul termic în cuptoare cu recirculația aerului sau în băi de săruri, iar sculele din oțeluri bogat aliate se încălzesc numai în băi de săruri, care protejează oțelurile de decarburare și oxidare la temperaturi ridicate. Îmersarea sculelor în băi de încălzire sau răcire se face în poziție verticală pentru a preveni deformarea lor. Uneori sculele din oțeluri rapide pentru a li se mări rezistența la coroziune după tratamentul termic final se supun unui tratament de feroxare când exterior se acoperă cu oxizi de fier în strat subțire și compact. Operația de feroxare constă în încălzirea sculelor la 550°C o oră în abur supraîncălzit introdus la temperatura de 350°C, răcire în abur până la 350°C apoi în aer liber până la 100°C după care răcirea continuă în ulei cald la 40-60°C.

### 8.1.2. Tratamente termice aplicate oțelurilor de scule pentru deformare

Sculele de deformare plastică sînt scule greu solîcitate la rezistență de contact și la uzare prin frecare. Cu asemenea scule se prelucreează materialele metalice prin presare, tăiere, găurire, ambutisare, extrudare, trefilare, matrițare, forjare, laminare, etc. În funcție de temperatura de lucru sculele din această categorie se împart în scule pentru deformare la rece și la cald. Pentru asemenea scule se utilizează oțeluri carbon de scule, oțeluri slab aliate și bogat aliate de scule. Tratamentele termice ce pot fi aplicate sînt de asemenea preliminare și finale.

#### 8.1.2.1. Tratamente termice aplicate oțelurilor de scule pentru deformare la rece

Sculele pentru deformare la rece se utilizează în operațiile tehnologice de îndoire, răsucire, presare, ambutisare, forjare, trefilare, extrudare, laminare, matrițare la rece, sfărîmarea, forfecare, perforare, ștanțare, bordurare, vîlțuire, refulare, etc.

Sculele destinate deformării plastice la rece (matrițe, dălți, poansoane, foarfeci, filiere de tragere, ciocane, etc.) se execută din oțeluri carbon (OSC7, OSC8, OSC8M, OSC10, OSC11-STAS 1700-80), oțeluri slab aliate 117VCr06, 97MnCrW14, 45VSiCrW20, 90VMn18, 55MoCrNi15, și oțeluri bogat aliate (200Cr120, 150VNiCr120-STAS 3611-80).

Sculele pentru deformare plastică la rece trebuie să posede o duritate mare la suprafață (HRC=58-64) și o tenacitate mare în miez (HRC=55-62).

Sculele care lucrează fără șocuri, solîcitate puternică la uzare cum sînt filierele de tragere, se execută din oțeluri cu duritate superficială mare: OSC-uri; 90VMn18, 97MnCrW14 și 200Cr120.

Sculele care lucrează la șocuri mari și sînt solîcitate pu-



ternic la lovire (ciocane, matrițe de decupat, poansoare, etc.) se execută din oțeluri cu o tenacitate satisfăcătoare: OSC8; OSC10; 117VCrO6, 45VSiCrW20, 55MoCrNi15. Uneori aceste scule de tăiere pu-  
ternic solicitate la uzare se execută din oțeluri rapide (Rp5).

Tratamentul termic primar al acestor oțeluri este același prezentat la oțelurile pentru scule așchietoare și are rolul de a înmuia oțelul în vederea creșterii prelucrabilității prin așchiere și de a asigura o omogenizare mai completă a austenitei la trata-  
mentul termic final. În general, constă dintr-o recoacere completă de înmuiere cu încălzire deasupra punctelor critice ( $870-900^{\circ}\text{C}$ ), urmată de răcire cu cuptorul până la  $600-500^{\circ}\text{C}$ , apoi în aer liber. Prin acest tratament termic se asigură globulizarea cementitei și finisarea structurii.

Tratamentul termic final constă din călire urmată de reveni-  
re.

Parametrii tehnologici ai tratamentului termic final depind de natura oțelului, de forma, dimensiunile și destinația sculei.

Parametrii tehnologici ai tratamentelor termice pentru oțelu-  
rile OSC8; OSC8M; OSC10; OSC11; 117CrVo6; 45VSiCrW20; 90VMn18 sînt în ta-  
belele 8.1 și 8.2, iar pentru celelalte oțeluri destinate deformării  
plastice la rece sînt dați în tabelul 8.4.

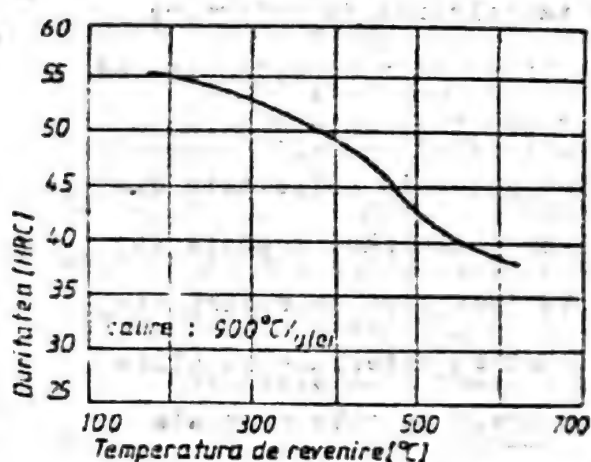
Tabelul 8.4

Oțelul	Recoacere de înmuiere		Călire			Revenire	
	T, $^{\circ}\text{C}$	HB	T, $^{\circ}\text{C}$	mediu	HRC	T, $^{\circ}\text{C}$	HRC
OSC7	680-720	187	800-820	apă	60-62	150-300	58-62
55MoCrNi15	680-700	240	840-880	ulei	58	520-560	48
			930-960	ulei		210-230	60-63
200Cr120	810-840	260	950-980	uile sări	60	420-440	54-58

Austenitizarea oțelurilor bogat aliate 200Cr120, 150VMoCr120 se

execută cu o treaptă de preîncălzire la  $600-720^{\circ}\text{C}$ , iar încălzirea finală se face în băi de săruri pentru a preveni decarburarea.

Revenirea trebuie aplicată imediat după călire, deoarece aceste oțeluri aliate cu crom au o susceptibilitate crescută la fisurare. Parametrii tehnologici de revenire pentru oțelurile de scule destinate deformării la rece se aleg în funcție de duritate și reziliență. Duritatea scade pe măsură ce crește temperatura de revenire. În fig. 245 se arată scăderea durității oțelului VSCW20 că-



lit de la  $900^{\circ}\text{C}$  în ulei, după reveniri la diverse temperaturi.

Pentru a preveni deformarea la tratamentul termic se iau măsuri de imersare a sculelor în mediile de încălzire și răcire în poziție verticală, utilizarea călirii în două medii și chiar folosirea călirii în presă.

Fig. 245. Variația durității oțelului 45VSiCrW20 cu creșterea temperaturii de revenire.

Unele scule cum sînt poansonzele, trebuie să poată avea simultan o duritate mare și rezistență mare la uzare a părții active și o tenacitate mare a capului (cozii). Aceste scule se tratează termic selectiv, tratament care constă în călirea integrală în apă pînă se atinge temperatura de  $100-120^{\circ}\text{C}$ , apoi se revine integral la  $180-200^{\circ}\text{C}$ . În continuare se preîncălzește coada în băi de săruri pînă la  $300-380^{\circ}\text{C}$ , apoi se încălzește coada la  $450^{\circ}\text{C}$  după care se răcește în aer liber. Acest tratament termic asigură o repartizare optimă a durității și tenacității în lungul poansonului.

Sculele de deformare plastică solicitate puternic la uzare



și la jocuri cum sînt cilindrii de laminare la rece, se supun călirii superficiale și revenirii joase după un tratament termic prealabil de îmbunătățire.

#### 8.1.2.2. Tratamentele termice aplicate oțelurilor de scule pentru prelucrare la cald

În această categorie intră atît sculele pentru deformare plastică la cald cît și cochiliile și matrițele de turnare sub presiune.

Sculele utilizate în operațiile tehnologice de deformare plastică la cald (forjare, matrițare, laminare, extrudare, îndoiri, răsucire, presare, refulare, tragere la cald, etc.) și cele destinate turnării în cochilă și sub presiune sînt puternic solicitate dinamic și termic. Sculele destinate acestor prelucrări trebuie să reziste la jocuri mecanice, să reziste la încălziri și răcirii alternante, să reziste la contact îndelungat cu materiale metalice calde ( $900-1200^{\circ}\text{C}$ ) și la uzare prin frecare. Oțelurile de scule pentru deformare la cald au o călibilitate mare, stabilitate termică ridicată, rezistență mare la jocuri termice, conductibilitate termică mare, refractaritate ridicată și tenacitate mare.

Aceste oțeluri conțin mai puțin carbon (0,3-0,6%) decît celelalte oțeluri de scule, tocmai pentru a nu se decarbura superficial la contactul cu materialele metalice calde.

Alierea acestor oțeluri se face cu 4,5-9%W, 0,6-5,8%Cr; 0,15-3%Mo; 0,1-0,3%V; 0,15-1,2%Si; 0,3-0,6%Mn și 0,3-2%Ni.

Aceste elemente de aliere conferă oțelurilor caracteristici mecanice și tehnologice necesare condițiilor grele în care sculele lucrează.

Astfel, Cr și W conferă rezistență la uzare și stabilitate termică, Ni și Mn asigură o călibilitate mare, Mo micșorează fragili-

tatea la revenire, iar si împiedică oxidarea și arderea oțelurilor.

Oțelurile de scule pentru prelucrare la cald sînt oțeluri , carbon de scule (OSC7; OSC8 și OSC10-STAS 1700-80) și oțeluri slab aliate de scule (30VCrW85; 55MoCrN115; 57VMoCrN117; 30VMoCr30; 39VMoCr53; 40VMoCr52 și 36VMoCr53 - STAS 3611-80).

Oțelurile carbon de scule OSC7; OSC8 și OSC10 se utilizează la confecționarea sculelor supuse la lovituri și șoc cum sînt ciocane de forjare la cald, baroase și matrițe simple mici, care necesită tenacitate mare și duritate suficientă.

Sculele pentru deformare plastică la cald (matrițe mari de refulat, matrițe pentru extruziune, cilindri de laminor, matrițe pentru injectat sub presiune mase plastice, scule pentru forjare, etc.) se execută din oțelurile: 30VCrW85; 55MoCrN115; 57VMoCrN117; 36VMoCr53; 39VMoCr53 și 40VMoCr52.

Matrițele de turnare sub presiune a aliajelor neferoase se execută din 30VCrW85; 30VMoCr30; 39VMoCr53 și 40VMoCr52.

În general oțelurile destinate prelucrării la cald au o rezistență scăzută la fluaj, motiv pentru care ele nu pot fi utilizate în condiții de temperaturi ridicate și de durată. În general matrițele în timpul lucrului la cald sînt răcite.

Tratamentul termic primar al acestor oțeluri este identic cu al celorlalte oțeluri de scule prezentate și constă fie dintr-o recoacere de înmuiere prin globulizarea cementitei, fie dintr-o normalizare urmată de recoacere subcritică care urmărește eliminarea rețelei sau aglomerărilor de cementită și globulizarea ei.

Tratamentul termic final aplicat oțelurilor aliate de scule pentru prelucrare la cald (deformare plastică și turnare) constă din călire și revenire înaltă care să asigure o structură sorbitică capabilă să imprime caracteristicile mecanice și tehnologice



necesare acestor oțeluri.

Sculele pentru prelucrare la cald avind o formă complexă se încălzesc pentru călire în trepte pentru ca tensiunile interne să fie cât mai mici. Deasemeni se recomandă încălzirea în băi de săruri sau atmosfere protectoare pentru a preveni decarburarea. Răcirea pentru călire se face în apă în cazul oțelurilor carbon și în ulei în cazul oțelurilor aliate. În toate cazurile răcirea se face doar pînă la 150-200°C după care sculele se supun imediat revenirii finale.

Parametrii de tratament termic primar și final al oțelurilor de scule pentru prelucrare la cald sînt dați în tabelul 8.5

Tabelul 8.5

Oțelul	Recoacere de înmuiere		Călire		Revenire	
	T, [°C]	HB	T, [°C]	HRC	T, [°C]	HB
30VGrW85	740-780	255	1075-1125	49-52	600-620	360-470
55MoCrNi15	680-700	240	840-880	48-50	520-560	320-410
57VMoCrNi17	660-700	255	840-860	48-52	500-600	400-450
30VMoCr30	750-800	230	1020-1060	-	500-670	-
39VMoCr53	750-790	230	1020-1050	-	550-650	-
40VMoCr52	750-800	240	1000-1040	-	550-650	-
36WMoCr53	750-800	240	1020-1060	-	550-650	-

Durata de menținere la temperatura de preîncălzire este de 30 min/25 mm grosime, iar la temperatura de austenitizare de cca. 20 min/25 mm grosime.

În vederea revenirii sculelor se introduc în cuptorul preîncălzit la 250-300°C și se mențin la temperatura de revenire cca 10-15 min/25 mm grosime. În urma revenirii finale sculele sînt detensionate complet, au o duritate medie și o tenacitate mare.

Uneori se aplică o călire cu răcire localizată numai a ca-

vităților matrițelor (suprafețe de lucru) cu ajutorul unor duze de răcire specială. În acest caz se elimină operația de revenire separată, ea efectuându-se prin reîncălzirea cavităților de la masa matriței.

Ciclul de tratament termic final pentru o matriță de forjă din oțel 57VMoCrNi17 este dat în fig.246.

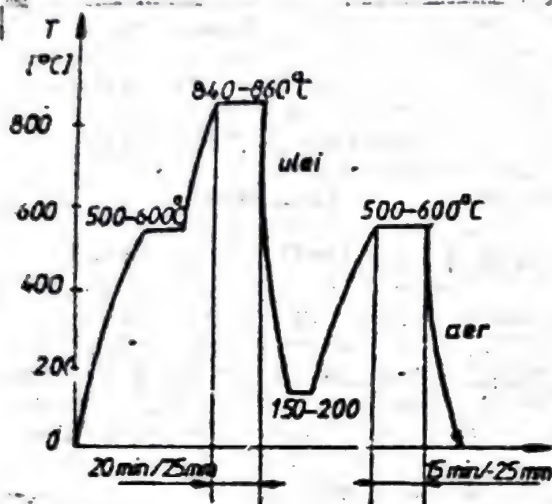


Fig.246. Graficul de tratament termic final al unei matrițe din oțel 57VMoCrNi17

### 8.1.3. Tratamente termice aplicate oțelurilor pentru scule de măsurat și verificat

Sculele de măsurat și verificat sînt supuse solicitărilor de uzare a suprafețelor de contact. Oțelurile destinate acestor scule trebuie să posede duritate superficială ridicată (58-64 HRC), o bună rezistență la uzare, o stabilitate dimensională ridicată, rezistență la coroziune și

o capacitate ridicată la gelifuire.

Sculele de măsurat și verificat, gublere, micrometre, calibre tampon, calibre potcoavă, șabloane, se execută din oțeluri carbon de scule (OSC10, OSC11), oțeluri slab aliate (50VMn18, 40Cr10), oțeluri bogat aliate (200Cr120; 150VMoCr120; 20Cr130) și oțeluri de cementare (OLC10; OLC15; OLC20; 15Cr08; 13CrNi130).

Oțelurile destinate acestei grupe de scule au o călibilitate redusă (fără 200Cr120 și 50VMn18), un coeficient mic de dilatare în intervalul 0, - 100°C ( $9,5 \cdot 10^{-6}$  -  $12,5 \cdot 10^{-6}$  dacă structura este martensitică și  $16 \cdot 10^{-6}$  -  $17 \cdot 10^{-6}$  dacă structura este austenitică) și o segregatie redusă a carburilor și incluziunilor după tratamentul termic final.



Tratamentul termic primar al acestor oțeluri urmărește obținerea unor structuri cât mai omogene și cât mai stabile în timp și să asigure deformății minime la tratamentul termic final. Tratamentul care asigură aceste condiții este îmbunătățirea (călire și revenire înaltă) pentru obținerea unei structuri sorbitice. Sorbita, având un volum specific mai apropiat de martensită decât perlita, asigură deformății minime la călirea ulterioară. De asemenea sorbita asigură obținerea unei calități superioare a suprafețelor la prelucrarea prin aşchiere a sculelor de măsurat și verificat.

Tratamentul termic final aplicat sculelor de măsurat și verificat constă din călire, revenire joasă și îmbătrânire artificială. Sculele de înaltă precizie se tratează termic la temperaturi criogenice. Scopul acestui tratament termic complex este de a asigura sculelor de măsurat și verificat duritate ridicată și o stabilitate structurală și dimensională ridicată în timp.

Temperatura de călire se alege la limita inferioară a intervalului de temperaturi prescris pentru oțelul respectiv pentru a se obține o cantitate cât mai mică de austenită reziduală, tensiuni și deformății minime.

Încălzirea se face în trepte utilizând băi de săruri. Răcirea pentru călire se execută în ulei pentru oțelurile aliate și în apă pentru oțelurile nealiate.

Revenirea joasă se aplică imediat după călire și constă în încălzirea la 120-130°C, menținere îndelungată până la 100 ore și răcire lentă. Scopul revenirii joase este de a elimina tensiunile interne fără a micșora prea mult duritatea (60-64 HRC). După revenirea joasă sculele de măsurat și verificat se rectifică și se glesuiesc când se introduc din nou tensiuni interne în straturile superficiale. În scopul eliminării acestor tensiuni și al stabilizării

rii structurii, în final se aplică o îmbătrânire artificială. Sculele de înaltă precizie se supun unui tratament sub zero grade Celsius la ( $-50^{\circ}\text{C} \dots -60^{\circ}\text{C}$ ) imediat după călirea în apă sau ulei, după care se aplică o revenire la  $140-160^{\circ}\text{C}$  timp de 1-3 ore. Prin acest tratament termic austenita reziduală se elimină în mare măsură, iar stabilitatea dimensională crește mult. Uneori răcirea la temperaturi negative și revenirea joasă se alternează de 2-3 ori.

Sculele de măsurat și verificat de precizie mijlocie se supun călirii superficiale prin inducție urmate de o revenire joasă.

Sculele de măsurat și verificat executate din oțeluri aliate, în special calibrele tampon, după funcționare îndelungată, când dimensiunile s-au micșorat datorită uzurii, se supun unui tratament termic de regenerare care constă din încălzirea acestora într-o baie de ulei la  $200-240^{\circ}\text{C}$ , un timp de 2-5 ore. În timpul încălzirii și menținerii austenita reziduală cu volum specific minim se transformă în martensită cu volum specific mare, fapt ce determină creșterea dimensiunilor cu 0,04-0,08 mm. După regenerarea dimensiunilor, duritatea scade la 57-60 HRC. Acest tratament termic poate fi aplicat numai sculelor din oțeluri aliate care după tratamentul termic final conțin în structură peste 15-20% austenită reziduală. Regenerarea dimensiunilor calibrelor înelare uzate la care diametrul interior a crescut prin uzare se face prin încălzirea lor în băi de plumb la  $750-780^{\circ}\text{C}$  cu răcire în apă sau ulei. În timpul încălzirii acestor calibre stratul interior nu trebuie să se încălzească peste temperatura de revenire anterioară. Pentru aceasta calibrele se așează pe dornuri cu puțin mai mici decât calibrele, iar timpul de menținere trebuie să fie riguros ales. Diametrul interior se micșorează cu 0,1 - 0,2 mm. În același scop se poate utiliza încălzirea prin C.I.F.



#### 8.1.4. Tratamente termochimice aplicate sculelor

Îmbogățirea straturilor superficiale cu elemente care să formeze compuşii chimici duri, reprezintă o metodă eficace de creștere a durității, rezistenței la uzare și a durabilității sculelor de așchiere, deformare plastică și de măsurare.

Tratamentele termochimice ce se aplică sculelor sînt aceleași ce se aplică și organelor de mașini: cementare, cianizare, carbonitrurare, nitrurare, sulfizare și cromizare.

Oțelurile de scule, cu excepția unor oțeluri destinate sculelor de măsurat și de deformare plastică la cald, conțin cantități mari de carbon (peste 0,7%), ca atare tratamentele termochimice urmăresc îmbogățirea straturilor superficiale în special cu N, Cr și S.

Sculele destinate așchierii, în special, cele slab aliate și bogat aliate se supun nitrurării, cianurării, cromizării și sulfizării, în scopul creșterii capacității de așchiere și a durabilității. Aceste tratamente termochimice trebuiesc repetate după fiecare ascuțire a sculelor, fapt ce duce la creșterea prețului de cost.

Cianurarea oțelurilor rapide de scule este tratamentul termochimic aplicat cel mai des, el asigură creșterea durabilității sculelor de 2 pînă la 10 ori. Cianurarea se aplică acestor oțeluri după executarea a două reveniri și curățirea în prealabil a suprafețelor. Constă în încălzirea sculelor la 530-540°C un timp de 15-20 minute într-o baie de săruri (carbonați și cianuri) cînd se obține o adîncime de 0,01 - 0,07 mm. Răcirea are loc în aer liber. Duritatea stratului superficial a oțelurilor rapide Rp3 și Rp5 după cianurare crește odată cu creșterea temperaturii de cianurare pînă la 550°C apoi scade (fig. 247).

Odată cu creșterea duratei de cianurare, adîncimea stratului crește (fig. 248), în schimb duritatea scade (fig. 249).

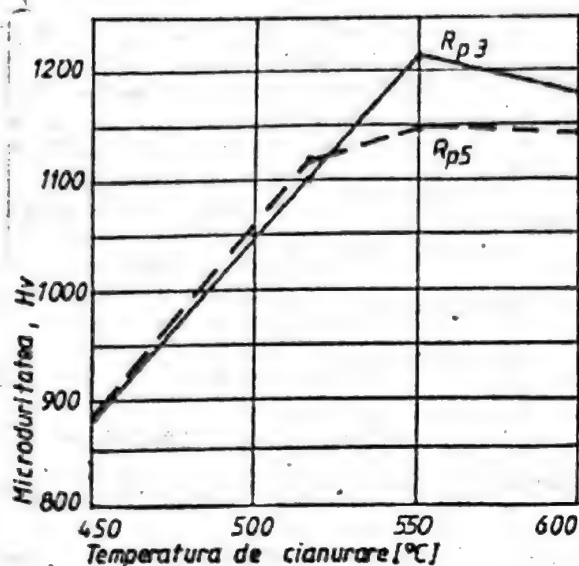


Fig. 247. Variația durității stratului cianurat al sculelor din oțeluri rapide cu temperatura de revenire.

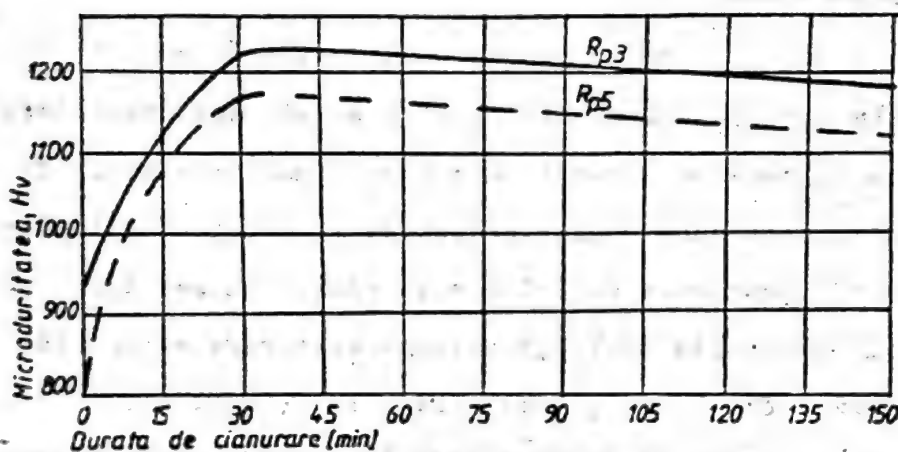


Fig. 248. Variația durității stratului cianurat al sculelor din oțeluri rapide cu durata de cianurare.

Sculele agchietoare din oțel rapid supuse tratamentului de sulfizare capătă însuși agchietoare apropiate celor obținute prin cianurare. Sulfizarea sculelor agchietoare din oțeluri rapide constă în încălzirea acestora în băi de săruri ( $\text{NaCNS} + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{KCl}$ ) la temperaturi de  $540-570^\circ\text{C}$  timp de o oră, când se obțin adâncimi de pătrundere a

sulfului de  $0,15-0,3$  mm.

În ultimul timp sculele agchietoare din oțeluri rapide se supun nitrurării ionice,

în urma căreia durabilitatea crește foarte mult. De asemenea combinarea nitrurării ionice cu tratament termic la temperaturi criogenice constituie un mijloc eficace de creștere a durabilității sculelor.

Sculele de deformare plastică își sporesc în mod considerabil duritatea și rezistența la uzare păstrând în același timp un miez tenace prin tratamente termochimice de nitrurare, cianizare și



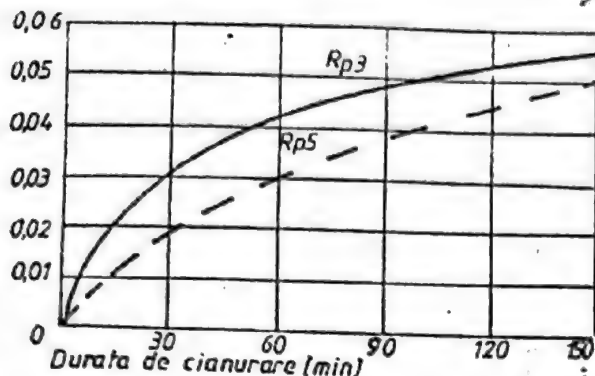


Fig. 249. Variația adâncimii de cianurare de timpului de cianurare la oțelurile rapide.

cromizare. Se supun acestor tratamente în special matrițele pentru prelucrare la rece și la cald care sînt scule puternic solicitate la uzare și la jocuri.

Nitrurarea suprafețelor active a matrițelor pentru deformări plastice la cald se realizează prin încălzirea acestora într-un curent

de  $\text{NH}_3$  la temperaturi de  $480-525^\circ\text{C}$ , menținere de 30-50 ore urmată de răcire odată cu cuptorul.

Duritatea obținută după nitrurare depășește 64 HRC.

Matrițele din oțeluri carbon și slab aliate destinate deformării plastice la rece se supun în mod curent unui tratament de cianurare înaltă, care constă din încălzirea matrițelor la temperaturi de  $840-850^\circ\text{C}$ , menținere de 2-3 ore și răcire în aer liber. Se obțin adâncimi de difuzie de 1-1,5 mm. După cianurare se aplică tratamentul termic de călire și revenire joasă ( $160-180^\circ\text{C}$ )

Matrițele din oțeluri bogat aliate ( $15\text{VMoCr12}$ ) se supun cianurării joase la  $520-560^\circ\text{C}$ , cînd se obțin adâncimi de 0,05-0,1 mm.

Sculele de trefilare își măresc considerabil caracteristicile de lucru prin cromizare în mediu solid. Cromizarea constă în încălzirea sculelor la  $900-925^\circ\text{C}$  într-un amestec format din pulbere de crom și iodură de amoniu. În urma cromizării duritatea straturilor superficiale crește pînă la 62-65 HRC.

Sculele de ștanțare și debavurare la rece din oțeluri rapide se pot supune tratamentului termochimic de cementare urmat de că-

lire și reveniri ciclice, când straturile exterioare devin foarte dure. Sculele de măsurat și verificat se tratează termochimic prin cementare și nitrurare.

Cementarea se aplică sculelor de măsurat și verificat din oțeluri aliate și nealiate cu puțin carbon în scopul creșterii rezistenței la uzare. Cementarea acestor scule are loc prin încălzirea lor la  $900-920^{\circ}\text{C}$ , un timp de 8-10 ore pentru 0,7-1 mm adâncime. Se utilizează în general medii solide sau gazoase. După cementare sculele se călesc în ulei de la  $840-860^{\circ}\text{C}$  și se revin la  $650-660^{\circ}\text{C}$  pentru finisarea structurii miezului. Ulterior sculele se tratează termic final prin călire de la  $770-790^{\circ}\text{C}$ , revenire la  $170-190^{\circ}\text{C}$ , rectificare, șlefuire și îmbătrânire artificială la  $145-155^{\circ}\text{C}$ .

Prin nitrurare sculele de măsurat și verificat își măresc mult stabilitatea dimensională și rezistența la uzare. Nitrurarea se aplică după un tratament termic de îmbunătățire. Constă în încălzirea sculelor în curent de  $\text{NH}_3$  la  $510-540^{\circ}\text{C}$ , menținere de 35-40 ore urmată de răcirea sculelor în curent de amoniac până la  $100^{\circ}\text{C}$  apoi în aer.

Sculele de măsurat și verificat se pot supune unei acoperiri galvanice cu crom (cromare dură) în scopul creșterii rezistenței la uzare, creșterii rezistenței la coroziune sau al regenerării dimensiunilor după uzare. Cromarea se face după tratamentul termic final utilizând un electrolit format din  $\text{CrO}_3$  250 g/l;  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2,5 g/l și  $\text{H}_2\text{O}$  la  $50-55^{\circ}\text{C}$  cu o densitate de curent de  $45 \text{ A/dm}^2$ . După cromare în strat rămâne o cantitate de hidrogen care se elimină prin încălzire la  $180^{\circ}\text{C}$  în ulei un timp de 2-3 ore. Stratul dur de crom are o grosime de 0,005-0,02 mm și o duritate de 800-950 HV.

Sculele se pot de asemenea acoperi cu carbură de titan ( $\text{TiC}$ )



sau sulfură de molibden ( $\text{MoS}_2$ ) în scopul creșterii rezistenței la coroziune și al durabilității lor.

Carbura de titan se impregnează pe suprafețele sculelor prin pulverizare, iar sulfura de molibden se adaugă în lichidul de răcire la tratamentul termic final.

Dezavantajul tratamentului termochimic aplicat sculelor constă în faptul că el trebuie aplicat după fiecare ascuțire a sculelor.

### 8.2. Tehnologii de tratament termic și termochimic aplicate organelor de mașini

Proprietățile fizico-mecanice și tehnologice variate ale semifabricatelor și organelor de mașini sunt obținute nu numai prin variația compoziției chimice a oțelurilor și fontelor ci și prin aplicarea unor tehnologii specifice de tratamente termice și termochimice.

Diversitatea mare a organelor de mașini ca formă, dimensiuni, solicitări la care sunt supuse și materiale impune o diversitate largă a tratamentelor termice și termochimice specifice.

În funcție de etapa de fabricație a pieselor și organelor de mașini tratamentele termice aplicate acestora sunt tratamente primare, când se aplică semifabricatelor laminate, turnate, forjate, matrițate, sudate în vederea obținerii unei structuri și durități adecvate prelucrărilor mecanice ulterioare și tratamente finale care se aplică pieselor în stare prelucrată în scopul de a le imprima proprietăți de rezistență ridicată.

Tratamentele termice primare: recoaceri, normalizări, căliri de punere în soluție și îmbunătățiri, iar tratamentele termice finale sau secundare constau din călire, revenire și îmbătrânire.

În determinarea unei tehnologii specifice de tratament ter-

mic se ține seama de compoziția chimică a materialului, de forma și dimensiunile pieselor, de destinația și rolul lor funcțional și de utilajul existent.

Tehnologiile de tratament termic sînt diferite pe grupe de piese care au caracteristici comune: formă și rol funcțional.

### 8.2.1. Tratamentul termic al rulmenților

Organele de rulmenți (inele, bile, role) sînt puternic solici- tate la presiuni specifice mari, la uzură, la oboseală de contact și la compresiune. Se execută din oțeluri de rulmenți RUL1 și RUL2- STAS 1456-80 care conțin 0,95-1,1%C; 0,2-1,2%Mn; 1,3-1,65%Cr și 0,17-0,65%Si. Rulmenții rezistenți la coroziune se execută din oțel inoxidabil 40Cr13o.

Caracteristicile de exploatare ridicate ale organelor de rulmenți sînt asigurate de structura obținută prin tratamentul termic final formată din martensită foarte fină, carburi globulare fine și austenită reziduală 5-10%.

Incluziunile nemetalice au un rol deosebit în exploatarea rulmenților. Ele trebuiesc limitate la minimum posibil deoarece prezența lor pe suprafețele de rulare constituie concentratori de eforturi și locuri de amorsare a fisurilor de oboseală.

Tratamentul termic primar aplicat semifabricatelor sub formă de bare laminate are ca scop eliminarea segregățiilor, benzilor și rețelelor de carburi, micșorarea durității, eliminarea tensiunilor interne, eliminarea ecruisării și asigurarea după călire și reveni- re a unei structuri optime. Ca tratamente termice primare, oțeluri- lor de rulmenți li se aplică: recoacerea de globulizare, normaliza- rea și recoscerea de detensionare.

Semifabricatele din care se execută organele pentru rulmenți se livrează în stare recoaptă.



Recoacerea de globulizare se face la  $760-810^{\circ}\text{C}$  cu menținere de 2-8 ore și răcire lentă cu cuptorul ( $20^{\circ}\text{C/h}$ ) până la  $690^{\circ}\text{C}$  apoi în aer liber (fig.250). În același scop se poate aplica și o recoacere

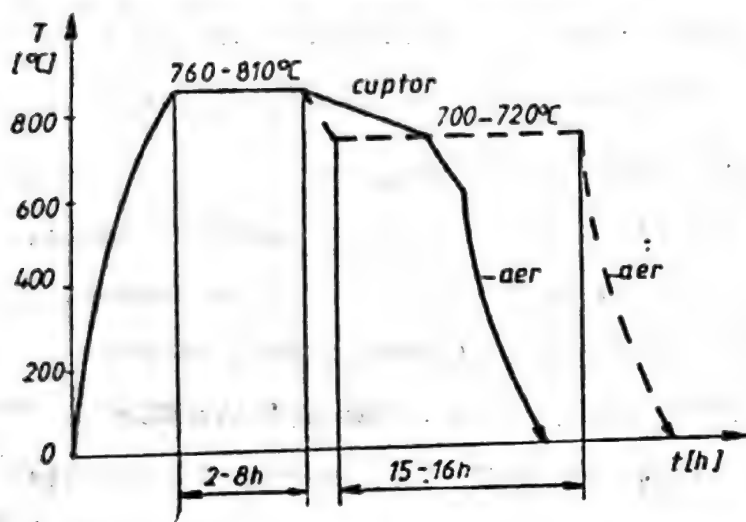


Fig.250. Graficul de recoacere de globulizare al oțelurilor de rulmenți.

izotermă cu o menținere de 15-16 ore la  $700-720^{\circ}\text{C}$  după austenitizare la  $760-810^{\circ}\text{C}$ .

Structura este formată din perlită globulară fină, iar duritatea este sub  $150-230\text{ HB}$ . Perlita globulară fină asigură oțelurilor de rulmenți după călire și revenire

duritate maximă și o tenacitate ridicată.

Normalizarea se aplică oțelurilor de rulmenți în scopul eliminării rețelei de cementită și a micșorării grăunților. Normalizarea precede recoacerea de globulizare. Se face prin încălzire la  $860-900^{\circ}\text{C}$  urmată de răcire în aer liber.

Recoacerea de detensionare se aplică organelor de rulmenți ecruisate. Constă din încălzire 1-2 ore la  $600-650^{\circ}\text{C}$  urmată de răcire lentă cu cuptorul.

Tratamentul termic final al organelor de rulmenți constă din călire și revenire joasă.

Călire se face în ulei sau apă la temperaturi de  $300-350^{\circ}\text{C}$  în funcție de forma și dimensiunile organelor de rulmenți. Astfel, bilele și organele cu dimensiuni mari se călesc în apă pentru a asigura o călibilitate mărită, iar inelele care sînt mai susceptibile de deformare se călesc în ulei.

În vederea prevenirii deformațiilor, inelele de rulmenți se pot căli în trepte cu mențineri la  $150-160^{\circ}\text{C}$  în săruri topite.

După călirea corectă, structura oțelurilor de rulmenți trebuie să conțină martensită aciculară foarte fină (hardenită), carburi globulare fine uniform distribuite și austenită reziduală 8-10%. Cantitatea de austenită reziduală poate fi redusă la 2-3% dacă răcirea în apă sau ulei este continuată cu o răcire pînă la  $-70^{\circ}\text{C}$ . În structura de călire nu se admite troostită.

Revenirea se aplică imediat după călirea în apă, ulei sau după răcirea sub  $0^{\circ}\text{C}$ , în scopul eliminării tensiunilor interne și al creșterii stabilității dimensionale.

Încălzirea pentru revenire se face lent ( $50^{\circ}\text{C/h}$ ) pînă la  $150-230^{\circ}\text{C}$ , menținere la 1,5-2,5 ore urmată de răcire în aer. Cu cît temperatura de revenire este mai înaltă cu atît duritatea obținută va fi mai mică. Temperatura de revenire trebuie să fie cu  $50^{\circ}\text{C}$  mai mare decît temperatura dezvoltată în rulmenți în timpul exploataării.

Duratele lungi de revenire asigură o mai bună stabilitate structurală și dimensională a organelor de rulmenți.

Austenita reziduală și prezența tensiunilor interne sînt sursele modificării dimensiunilor organelor de rulmenți în timpul depozitării sau exploataării, care duc la apariția fie a zgomotelor, fie la griparea rulmenților. Tratatamentul termic sub  $0^{\circ}\text{C}$  acționează asupra micșorării cantității de austenită reziduală, iar revenirea de lungă durată acționează asupra micșorării tensiunilor interne.

Parametrii tehnologici ai tratamentelor termice aplicate organelor de rulmenți sînt dați în tabelul 8.6.

Rulmenții cu dimensiuni mari puternic solicitați la uzare, oboseală și la șoc mecanic se execută din oțeluri pentru cementare



Tabelul 8.6

Oțelul	Normalizarea		Recoacere de globuliz.		Călirea		Revenirea	
	T [°C]	HB	T [°C]	HB	T [°C]	mediu HRC	T [°C]	HRC
RUL 1	870-900	220	760-810	207	800-840 apă 810-850 ulei	62-66	150-230	60-63
RUL 2	860-890	240	760-810	217	790-830 apă 800-840 ulei	61-65	150-230	59-62

aliate cu crom și nichel.

Tratamentul termic primar al acestor oțeluri, care constă dintr-o normalizare urmată de recoacere de globulizare, vizează eliminarea structurii în benzi, eliminarea grăunților grosolani și creșterea prelucrabilității prin așchiere. După prelucrarea mecanică prin strunjire, organele acestor rulmenți se supun cementării de 1-3 ore la 930-950°C cu răcire în aer sau ulei.

În final se călesc în ulei de la 800°C și se revin la 150-160°C un timp de 10 ore. Puritatea în stratul superficial este de 61-65 HRC, iar în miez de 33-45 HRC.

Oțelurile pentru rulmenți se pot supune unui tratament termochimic de nitruare, prin care se măresc tensiunile de compresiune din stratul superficial, cu efect pozitiv asupra rezistenței la oboseală a rulmenților.

Graficul de tratament termic final al oțelului de rulmenți RUL 1 este dat în fig. 251.

Tratamentul termic al rulmenților este organizat în flux continuu.

### 8.2.2. Tratamentul termic al arcurilor

Arcurile sînt organe de mașini care prin proprietățile lor elastice amortizează vibrațiile, șocurile și loviturile, acumulează energia potențială pe care o poate transforma ulterior în lucru mecanic, limitează și reglează forțele și măsoară forțele și momentele.

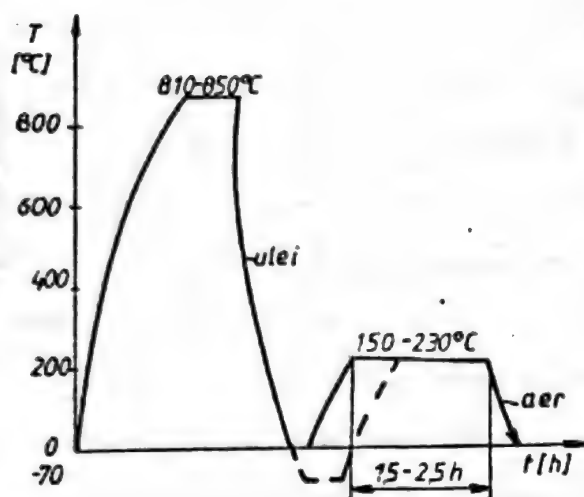


Fig. 251. Graficul de tratament termic final aplicat oțelului de rulmenți RUL 1.

Caracteristica principală a arcurilor este de a acumula o cantitate de energie potențială a cărei valoare variază proporțional cu pătratul rezistenței la rupere.

Arcurile se execută din oțeluri carbon și aliate pentru arcuri: OLC65A; OLC75A; OLC85A; 51Si17A; 51VCr11A; 60Si15A; 40Si17A; 56Si17A; 65S27A-STAS 795-80 și STAS 11514-80. Arcu-

rile ce lucrează în medii corosive se confecționează din oțelul anticorrosiv 40Cr13o.

Caracteristicile de exploatare ale oțelurilor pentru arcuri sînt: elasticitate ridicată ( $R_{0,2} = 0,9R$ ), rezistență la oboseală, rezistență la temperaturi ridicate și rezistență la coroziune. Aceste caracteristici sînt obținute prin tratamente termice finale.

Elementele de aliere Si, Mn, Cr și V măresc călibilitatea și elasticitatea.

În funcție de destinație, arcurile pot fi elicoidale, spirale disc, inelare, bare de torsiune sau din foi.

Arcurile sînt înfășurate sau îndoite la forma finală prin deformare plastică la rece sau la cald.

Arcurile elicoidale și spirale se înfășoară fie la rece (51VCr11A) cînd în prealabil sînt supuse unei recoaceri de înmuiere, iar după înfășurare se călesc și se revin mediu, fie la cald (56Si17A și 60Si15A) cînd după înfășurare se călesc și se revin. În toate cazurile, după realizarea arcurilor prin deformare la rece sau la cald



se aplică o recoacere de detensionare înainte de a se aplica călirea și revenirea arcurilor.

Arcurile foi sînt indoite la cald ( $900-950^{\circ}\text{C}$ ). Acestea se călesc direct după indoire de la temperatura respectivă.

Încălzirea oțelurilor pentru arcuri se face în băi de săruri sau în atmosfere controlate pentru a preveni decarburarea lor. Menținerea la temperatura de austenitizare este scurtă de 2-3 minute pentru fiecare milimetru grosime a arcului.

Călirea arcurilor se face în ulei sau apă de la temperaturi cuprinse între  $810-880^{\circ}\text{C}$ . Pentru reducerea tensiunilor la călire se poate aplica o călire în două medii, apă/ulei sau ulei/aer sau o călire izotermă, mențineri de 15 minute la  $280^{\circ}\text{C}$ . Prin aceste metode de călire se elimină revenirea ulterioară a arcurilor.

Revenirea arcurilor se aplică imediat după călire și constă în încălzirea lor în băi de săruri la temperaturi cuprinse între  $450-520^{\circ}\text{C}$  un timp de 5-10 minute. Creșterea temperaturii de revenire peste valorile prescrise determină micșorarea elasticității și a rezistenței la rupere a arcurilor.

Parametrii tehnologici ai tratamentelor termice aplicate arcurilor sînt dați în tabelul 8.7.

Tratamentul termic complet al unui arc elicoidal executat prin deformare plastică la rece din oțel aliat 51VCr11A este indicat în fig.252.

Pentru a preveni deformările arcurilor sub propria lor greutate în timpul încălzirii, se utilizează dispozitive speciale de așezare a arcurilor în care acestea sînt încălzite și răcite pentru diverse tratamente termice.

În lipsa dispozitivelor necesare arcurile elicoidale și spirale, în cuptoare, se așează în poziție culcat, iar arcurile foi se a-

Tabelul 8.7

Oțelul	Recoacerea de înmuiere	Recoacerea de detensionare	Călirea	Revenirea	HB
	$T, [^{\circ}\text{C}]$	$T, [^{\circ}\text{C}]$	$T, [^{\circ}\text{C}]$	$T, [^{\circ}\text{C}]$	
OLC 55A	680 - 700	600 - 660	830-850	400-460	350
OLC 65A	680 - 700	600 - 660	830-850	450-510	360
OLC 75A	690 - 710	600 - 660	810-830	450-510	400
OLC 85A	680 - 700	600 - 660	810-830	450-510	400
51VCr 11A	700 - 720	680 - 700	830-850	450-520	450
56Si 17A	700 - 720	680 - 700	860-880	430-490	342
60Si 15A	700 - 720	670 - 690	850-870	430-490	400
51Si 17A	700 - 720	680 - 700	860-880	430-490	363
40Si 17A	700 - 720	680 - 700	860-880	430-490	375
65 S2WA	700 - 720	680 - 700	850-870	420	321

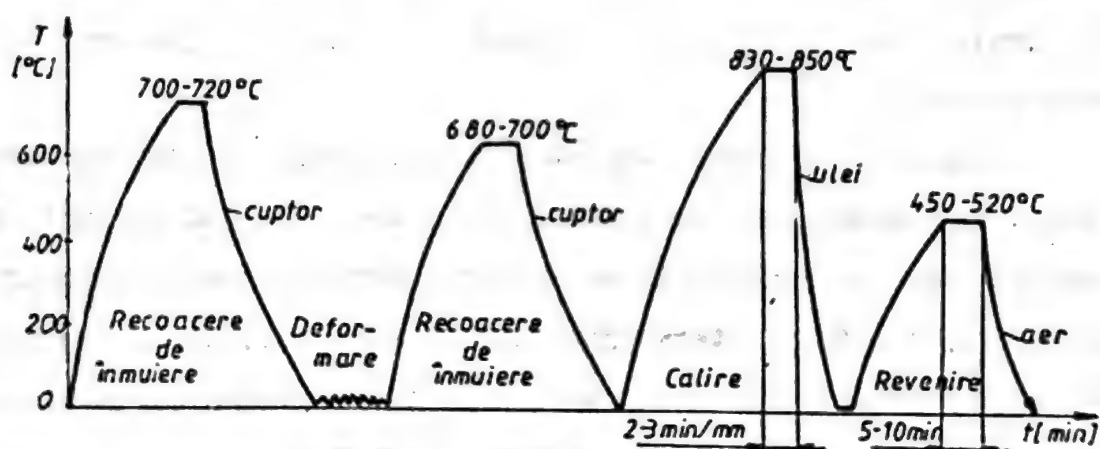


Fig.252. Graficul de tratament termic complet al unui arc elicoidal din oțel 51VCr 11A.

gează pe muchie pentru a preveni deformarea.

După tratamentele termice finale arcurile se curăță prin sablare cu alicie care realizează în plus și o durificare prin ecrusarea unui strat de 0,25 mm fapt ce determină creșterea rezistenței



la oboseală a arcurilor.

### 8.2.3. Tratamentul termic al arborilor drepți

Arborii drepți sînt organe de mașini sub formă de cilindri lungi plini sau goi, netezi sau în trepte, prevăzuți cu canale de pană sau canceluri cu rolul de a transmite mișcări de rotație și puteri, supuși la solicitări complexe de încovoiere, torsiune, uzare și oboseală. Arborii sau axele sînt sprijiniți pe lagăre de alunecare sau pe rulmenți în funcție de turația și momentul transmise.

Arborii se execută din oțeluri de construcție carbon de calitate și aliate, care în urma tratamentelor termice aplicate sînt caracterizate prin: rezistență la rupere, tenacitate, rezistență la oboseală și la uzare ridicate. Aceste oțeluri sînt: oțeluri carbon de calitate de cementare (OLC10; OLC15; OLC20); oțeluri de calitate de îmbunătățire (OLC35; OLC45; OLC50; OLC55; OLC60-STAS880-80); oțeluri aliate de cementare (13CrNi30; 15Cr08; 21TiMnCr12; 21MoMnCr12; 18MnCr10-STAS 4400-80); oțeluri aliate de îmbunătățire (40Cr10; 33MoCr11; 41MoCr11; 50VCr11; 34MoCrNi15; 41CrNi12; 38MoCrAl09-STAS 4400-80).

Cînd arborii drepți se execută din semifabricate laminate, acestea fiind normalizate de către producător, nu se mai supun tratamentelor termice primare. În schimb, cînd arborii drepți se confecționează din semifabricate forjate liber sau matrițate, tratamentul termic primar este obligatoriu, el constînd fie din normalizare, fie pentru unele oțeluri aliate mai dure, din normalizare urmată de o recoacere subcritică de globulizare. Rolul tratamentului termic primar la asemenea semifabricate este de a îmbunătăți prelucrabilitatea prin așchiere, refacerii structurii, ameliorarea caracteristicilor mecanice și eliminarea tensiunilor interne.

Tratamentele termice finale aplicate arborilor drepți, sînt în

funcție de solicitările în exploatare, calitatea materialului, dimensiunile și modul de sprijinire a lor.

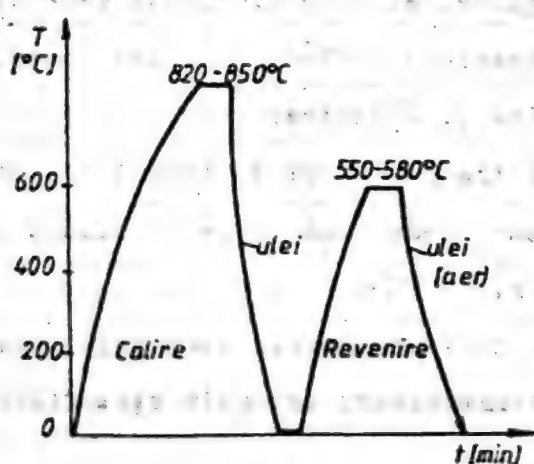
Astfel, arborii dreapți sprijiniți pe lagăre de rostogolire se supun unei căliri și reveniri înalte (îmbunătățiri), iar arborii sprijiniți pe lagăre de alunecare se supun fie unor tratamente termochimice ale fusurilor, fie unei căliri superficiale urmate de reveniri.

Călirea pătrunsă a arborilor se face prin încălzirea acestora la temperaturi ce depășesc punctul critic  $A_{C3}$  cu 30-50°C, menținere în funcție de dimensiunile arborilor și răcire în apă pentru oțelurile carbon sau în ulei cald la 40-80°C pentru oțelurile aliate.

Introducerea arborilor în incinta de încălzire, în general cupatoare electrice cu recirculație a aerului, se face în poziție verticală suspendată, iar imersarea în baia de călire are loc deasemeni în poziție verticală, evitându-se astfel deformările arborilor.

După călire se aplică o revenire înaltă la 550-650°C cu o menținere în funcție de dimensiunile arborilor și răcire în aer sau ulei pentru oțelurile cu fragilitate la revenire.

Graficul de îmbunătățire a unui arbore de transmisie din oțel aliat 41MoCr11 este dat în fig.253.



Călirea superficială se aplică arborilor puternic solicitați mecanic la încovoiere și oboseală, în zona fusurilor de sprijin și în zonele de transmitere a momentelor (porțiuni canelate sau cu canal de pană).

În funcție de forma și lungimea porțiunii de călit superficial precum și de utilajul



existent, se aleg diverse metode de călire superficială: călirea prin inducție cu C.I.F., cu flacără, cu rezistență electrică de contact sau prin electrolit. Se pot utiliza procedee de călire succesivă când  $L > 2D$  sau simultană când se încălzește dintr-o dată întreaga porțiune. În mod curent, fusurile arborilor drepecți, se călesc prin inducție cu C.I.F. când arborele în mișcare de rotație cu 50-500 rot/min se introduce într-un inductor mono sau multispiral răcit cu apă prin care circulă un curent de 2000-8000 Hz. Se obțin astfel adâncimi de călire de 1...3 mm.

În cazul călirii succesive, între inductor și arbore există o mișcare de translație axială cu o viteză de 2-30 mm/s.

Răcirea se face prin duș de apă sau emulsie direct prin inductor. Jetul de apă sau emulsie are o înclinare față de axa piesei de 30-45° în cazul călirii succesive.

Arborii care lucrează în condiții grele de solicitări la oboseală și uzare se supun tratamentelor termochimice selective de cementare (fusuri, porțiuni canelate sau cu canale de pană). În timpul cementării porțiunile ce nu trebuiesc cementate se protejează prin acoperiri galvanice sau alte procedee.

În funcție de rolul funcțional al arborilor, după cementare, aceștia se supun fie călirii directe urmată de revenire joasă, fie unei normalizări urmată de călire și revenire.

Parametrii tehnologici ai tratamentului de cementare, normalizare, călire și revenire sînt funcție de compoziția chimică a oțelului și de dimensiunile arborilor.

În tabelul (9.8) sînt prezentați parametrii tehnologici pentru diverse tratamente termice și termochimice aplicate oțelurilor destinate arborilor drepecți.

Tabelul 8.8

Oțelul	Normali- zare	Recoacere de globuli- zare	Cementare	CKlire	Revenire
	T, [°C]	T, [°C]	T, [°C]	T, [°C] Mediu	T, [°C] Mediu
OLC 10	800-900	-	900-930	900-930 ulei	150-180 aer
OLC 15	880-900	-	880-930	880-900 apă	150-180 aer
OLC 20	870-890	-	880-930	860-880 apă	150-180 aer
AUT 12	880-900	-	820-850	820-850 ulei	160-180 aer
OLC 35	840-890	680-700	-	840-860 apă	570-600 aer
OLC 45	830-890	680-700	-	830-850 apă	570-620 aer
OLC 50	820-840	680-700	-	820-840 apă	550-650 aer
OLC 55	810-850	680-700	-	810-830 apă	550-650 aer
OLC 60	800-820	680-700	-	800-820 ulei	570-620 aer
13CrNi30	850-870	680-720	900-930	850-870 ulei	170-190 aer
15Cr 08	870-900	690-720	900-930	860-890 apă	160-180 aer
21TiMnCr12	900-920	650-700	890-910	860-890 ulei	160-200 aer
21MoMnCr12	830-860	650-700	870-890	820-850 ulei	160-200 aer
18MnCr 10	870-890	680-720	900-930	860-890 ulei	160-180 aer
40Cr 10	840-870	680-700	-	830-860 ulei	500-530 ulei
33MoCr 11	850-880	700-730	-	820-850 apă	550-600 ulei
41MoCr 11	850-880	700-730	-	820-850 ulei	540-580 aer
50VCr 11	860-890	680-720	-	840-870 ulei	560-600 aer
34MoCrNi15	840-870	650-700	-	830-860 ulei	580-630 aer
41CrNi 12	840-870	680-720	-	800-830 ulei	520-580 ulei
38MoCrAl09	930-960	710-740	Nitrurare 520-560	920-950 ulei	620-650 ulei

#### 8.2.4. Tratamentul termic și termochimic al roților dințate

Roțile dințate formează un grup de piese într-o varietate ma-



re de forme și dimensiuni puternic solicitate la uzare, presiune de contact, oboseală de contact, încovoiere, oboseală prin încovoiere și șoc și la temperatură.

Roțile dințate folosesc la transmiterea mișcării și puterii în construcția de mașini; sînt organe de mașini ce aparțin ansamblurilor cutii de viteză și reductoare.

În funcție de gradul de solicitare, dat de viteza și puterea transmisă angrenajelor roțile dințate se grupează în patru categorii: slab, mediu, greu și foarte greu solicitate.

În exploatare, roțile dințate sînt solicitate în principal la oboseală de contact a flancului dintelui și la oboseală de încovoiere a fundului dintelui. Rezistența la oboseală de contact a flancului dintelui este corelată cu duritatea superficială a acestuia prin relația:  $R_{ft} = 0,75 \cdot HV$ , iar rezistența la oboseală prin încovoiere a fundului dintelui este corelată cu duritatea prin relația:  $R_f = (HV/100)^2$ . Variația rezistenței la oboseală a fundului și flancului dintelui funcție de duritatea superficială este dată în fig. 254 a, b.

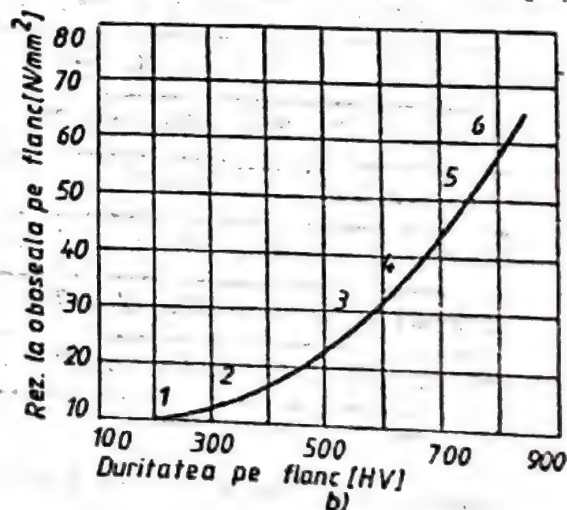
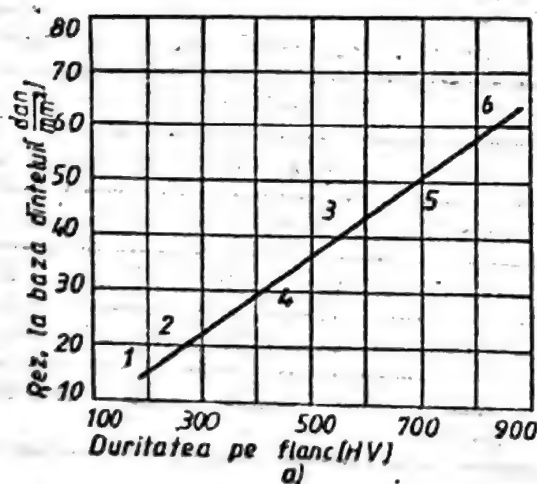


Fig. 254. Dependența rezistenței la oboseală a fundului (a) și a flancului dintelui (b) de duritatea danturii roților dințate.

Valorile foarte mici aparțin unui oțel nealiat îmbunătățit (1), valorile puțin mai mari aparțin unui oțel aliat îmbunătățit (2), valorile medii aparțin oțelurilor aliate nitrurate (3) sau călite superficial (4), iar valorile foarte mari aparțin unor oțeluri aliate cementate (5) sau nitrurate ionic (6). Deci, alegerea materialelor pentru roți dințate precum și tehnologia de tratament termic sau termochimic se face în funcție de gradul de solicitare și rolul funcțional al roților dințate.

Caracteristicile de exploatare ale roților dințate sînt asigurate de o structură care să asigure o tenacitate ridicată a miezului dintelui și o rezistență mare la uzare a flancului dintelui. Structura respectivă se obține atît prin alierea oțelurilor cît mai ales prin aplicarea unor tratamente termice și termochimice specifice. Astfel, roțile dințate slab solicitate mecanic (care transmit mișcări cu viteze mici și puteri mici prin acționare manuală) se execută din oțeluri nealiat semidure (170-250 HB) netratate sau tratate termic prin normalizare sau îmbunătățire: OLC45; OLC50-STAS 880-80. Se pot utiliza de asemenea fontă cenușie, bronz și mase plastice (textolit, pertinax, relon, teflon etc.).

Roțile dințate care transmit puteri mari la viteze mici, puternic solicitate la încovoiere și mediu la uzare se execută din oțeluri aliate pentru îmbunătățire cu tenacitate mare și duritate medie (230-260 HB): 33MoCr11; 41MoCr11; 40Cr10; 34MoCrNi15; 41CrNi12-STAS 791-80. Se utilizează numai în stare îmbunătățită. În același scop se pot utiliza oțeluri turnate: OT50; OT55-STAS 600-80 și T35Mn14; T30SiMn12; T35MoCrNi08-STAS 1773-80.

Roțile dințate care transmit turații mari la presiuni specifice relativ mari și puteri mici, solicitate la uzare și moderat la încovoiere prin șoc se execută din oțeluri carbon și aliate de îmbu-



năvălire semidure (250-350 HB): OLC45; OLC50; 33MoCr11; 41MoCr11; 40Cr10. Se utilizează după călire și revenire joasă.

Roțile dințate care transmit puteri mari la viteze mari sunt puternic solicitate atât la uzare cât și la oboseală prin încovoieră și de contact. Ele se execută fie din oțeluri carbon și aliate de îmbunătățire călite superficial sau tratate termochimic prin niturare în gaz sau în plasmă: OLC45; 40Cr10; 41MoCr11; 33MoCr11; 38MoCrAl09; 41CrNi12, fie din oțeluri aliate pentru cementare: 18MnCr10; 21MoMnCr12; 13CrNi30; 21TiMnCr12; 20MoNi35; 17CrNiMo6; 18CrNi20; 15Cr08; 18MoCrNi13; 28TiMnCr12.

#### 8.2.4.1. Tratamente termice aplicate roților dințate

Tratamentele termice primare aplicate semifabricatelor destinate fabricării roților dințate, sunt în funcție de natura materialului și de modul de obținere (prin laminare, forjare sau turnare): recoaceri de detensionare, recoaceri de înmuiere, normalizare și îmbunătățire.

Semifabricatele turnate din fontă cenușie pentru roți dințate se supun în mod obligatoriu unei recoaceri de detensionare care constă în încălzirea acestora cu o viteză mică de  $50^{\circ}\text{C/h}$  până la  $500-600^{\circ}\text{C}$ , menținere 2-3 ore, urmată de răcire lentă cu  $30-40^{\circ}\text{C/h}$  în cuptor până la  $250-300^{\circ}\text{C}$  apoi în aer liber. Când semifabricatele au un strat albit se supun unei recoaceri de înmuiere, care constă în încălzirea până la  $700-760^{\circ}\text{C}$ , menținere o oră pentru fiecare 25 mm grosime, urmată de răcire în cuptor până la  $300^{\circ}\text{C}$  apoi în aer liber. Cementita și ledeburita din structură se descompun în ferită și grafit.

Semifabricatele turnate din oțeluri se supun, în vederea uniformizării și finisării structurii, normalizării cu parametrii determinați în fiecare caz în parte funcție de calitatea oțelului și

dimensiunile semifabricatelor. Cînd duritatea după normalizare este mare, îngreunînd astfel aşchieria, semifabricatele se supun unei recoaceri subcritice de globulizare a perlitei. Încălzirea se face la 650-680°C, răcirea efectuîndu-se odată cu cuptorul.

Semifabricatele turnate din oţeluri aliate se supun unei recoaceri de omogenizare, care constau în încălzire şi menţinere la temperaturi cu 100-150°C peste  $A_{C3}$ . După omogenizare se aplică o normalizare pentru finisarea structurii.

Semifabricatele din oţeluri obţinute prin forjare liberă sau matrişare se supun normalizării, recoacerii complete sau unei îmbunătăţiri în funcţie de natura oţelurilor şi de destinaţia roţilor dinţate.

Tratamentele termice finale aplicate roţilor dinţate, au rolul de a asigura caracteristicile înalte de exploatare ale acestora. În funcţie de calitatea materialului, destinaţia roţilor dinţate, utilajul existent, se pot aplica următoarele tratamente termice finale: îmbunătăţire, călire pătrunsă urmată de revenire joasă şi călire superficială urmată de revenire joasă.

Îmbunătăţirea se aplică roţilor dinţate executate din oţeluri carbon şi aliate de îmbunătăţire, în scopul obţinerii unor proprietăţi de duritate şi tenacitate uniforme în toată secţiunea.

Călirea pătrunsă în vederea îmbunătăţirii se realizează prin încălzirea roţilor dinţate prelucrate prin aşchiere (danturare) la temperaturi cu 30-50°C peste punctul critic  $A_{C3}$ , menţinere de 1,5-2 minute/l mm grosime în funcţie de dimensiunile roţilor dinţate, urmată de răcire cu agitare în apă pentru roţi din oţeluri nealiate şi în ulei cald la 50-60°C pentru roţi din oţeluri aliate. Agitarea roţilor dinţate în mediul de răcire este necesară pentru a distruge pelicula de vapori ce se formează în golurile dintre dinţi.



Pentru coroane dințate la care grosimea maximă este mai mică sau egală cu grosimea medie a dintelui, durata de încălzire și menținere se calculează în funcție de modulul ( $m$ ) coroanei cu relația:

$$t_m = (2,5 - 3)m \quad [\text{min}] \quad (8.1)$$

unde modulul  $m$  se ia în mm.

Încălzirea pentru călire se realizează în general în băi de săruri sau atmosfere controlate pentru a preveni decarburarea. Roțile dințate sensibile la deformări se călesc în dispozitive speciale (prese).

Revenirea pentru îmbunătățire este înaltă la temperaturi de  $650^\circ\text{C}$ . Durata de revenire este de o oră pentru 25 mm grosime a peretelui pentru roți dințate, iar pentru coroane dințate este de  $(4...5)m$ , unde  $m$  este modulul danturii în mm. Răcirea după revenire se face în aer pentru oțeluri nealiat și în apă sau ulei pentru oțeluri aliate cu crom care sînt susceptibile la fragilitatea de revenire.

Cînd se utilizează ca mediu de răcire de la revenire apa (roți dințate cu modul mare din oțeluri aliate cu crom) se aplică în final o detensionare la  $400-450^\circ\text{C}$ .

Îmbunătățirea se aplică roților dințate slab și mediu sollicitate mecanic.

Călirea pătrunsă urmată de o revenire joasă se aplică roților dințate ce lucrează la turații ridicate și la puteri medii executate din oțeluri nealiat și aliate de îmbunătățire.

Revenirea joasă se aplică imediat după călire pătrunsă la temperaturi de  $180-220^\circ\text{C}$  și asigură durități de 50-55 HRC.

Călire superficială a roților dințate puternic sollicitate mecanic folosite pentru transmiterea de viteze și puteri mari, se aplică în scopul obținerii unei durități superficiale mari (52-55 HRC) pe flancurile dinților și a unei tenacități ridicate a miezu-

lui dinților și a peretelui roții dințate din oțeluri carbon și aliate de îmbunătățire. Valoarea optimă a stratului călit este de  $(\rho, 25 \dots 0,35)m$ , în care  $m$  este modulul danturii în mm.

Se utilizează în special călirea superficială cu inducție, când frecvența optimă a curentului indus este de  $(10^5 \dots 10^6)/m^2 \text{ Hz}$ , unde  $m$  este modulul danturii în mm. O frecvență mai mică determină creșterea grosimii de călire cu influență negativă asupra tenacității dintelui, iar o frecvență prea mare împiedică încălzirea și călirea bazei dinților. Puterea specifică la generator este de  $0,7 \dots 2,2 \text{ Kw/cm}^2$  în funcție de diametrul roții dințate (puteri mari corespund diametrelor mici și invers).

Forma inductorului depinde de modulul danturii roților ce se călesc. Astfel pentru roți dințate cu modulul mai mic de 6 mm se utilizează inductoare monospirale inelare ce înconjoară toată roata dințată asigurând încălzirea și răcirea simultană a tuturor dinților. Distanța dintre vârful dinților și inductor este de 2-4 mm. În acest caz se utilizează o frecvență joasă care asigură încălzirea întregii mase a dinților, iar prin răcirea ulterioară se căleşte doar pe o anumită adâncime, dantura. În același scop se poate utiliza încălzirea în două inductoare: inițial în unul cu frecvență joasă pentru încălzirea fundului dinților și apoi trecerea într-un inductor cu frecvență înaltă pentru încălzirea vîrfurilor dinților.

Pentru roțile dințate cu modul mai mare decît 6 se utilizează inductoare care înconjoară dintele (călire dinte cu dinte) sau care pătrunde în golul dintre dinți (călire gol cu gol). În acest caz se călesc individual și succesiv toți dinții prin deplasarea inductorului pe fiecare dinte în parte.

Inductorul ce pătrunde în golul dintre dinți se utilizează pentru roți cu modul mare și foarte mare.



După călirea superficială se aplică o revenire joasă la 180-240°C cu o menținere de 1-2 ore în vederea detensionării.

#### 8.2.4.2. Tratamente termochimice aplicate roților dințate

Roțile dințate puternic solicitate mecanic care transmit puteri și turații mari din oțeluri nealiat sau aliate se supun unor tratamente termochimice de cementare, nitrurare în gaz, nitrurare ionică, cianizare și carbonitrurare.

Cementarea se aplică roților dințate din oțeluri de cementare aliate și nealiat. Adâncimea de cementare asigurată prin parametrii tehnologici ai procesului depinde de modulul danturii, fiind cu atât mai mare cu cât modulul este mai mare, fig.255. Se poate utiliza ce-

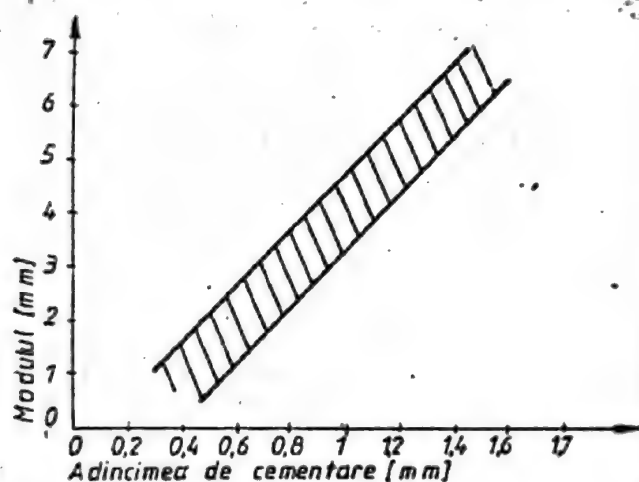


Fig.255. Relația dintre modulul roților dințate și adâncimea de cementare.

mentarea în mediu solid în cutii de cementare sau prin acoperire cu paste de cementare și în medii gazoase. Încălzirea pentru cementare se face la temperaturi de 910-930°C. Rezistența la oboseală de contact a flancului dintelui crește cu adâncimea de cementare până la 0,4-0,5 mm apoi scade. În fig.256 este arătată această variație pentru oțelul 18CrNi20. După cementare roțile dințate se supun călirii și revenirii joase prin unul din procedeele prezentate în Cap.3.2. Duritatea obținută prin cementare are o influență deosebită asupra rezistenței la oboseală a dinților, fig.257.

Cianizarea se aplică roților dințate cu modulul mic. Constă în

mentarea în mediu solid în cutii de cementare sau prin acoperire cu paste de cementare și în medii gazoase. Încălzirea pentru cementare se face la temperaturi de 910-930°C. Rezistența la oboseală de contact a flancului dintelui crește cu adâncimea de cementare

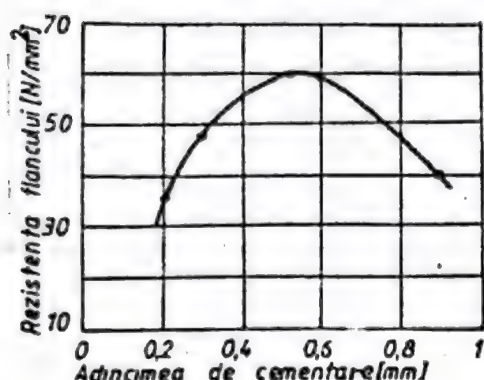


Fig. 256. Variația rezistenței la oboseală a flancului dintelui cu adâncimea de cementare pentru oțelul 18CrNi20.

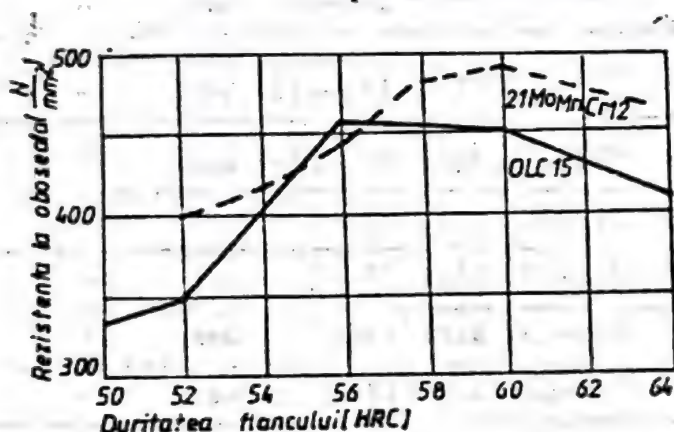


Fig. 257. Variația rezistenței la oboseală a flancului dintelui cu duritatea stratului cementat.

preîncălzire la 400-500°C, apoi încălzire finală la 860-870°C în băi de cianuri și săruri neutre, menținere de 0,5-1 oră urmată de călire directă în ulei și revenire joasă. Adâncimea de cianizare este 0,2-0,4 mm.

Carbonitrurarea se aplică deasemeni roților dințate de modul mic din oțeluri aliate.

Constă în încălzirea lor la 820-860°C în medii gazoase (3-10% NH<sub>3</sub> în CH<sub>4</sub> sau endogaz), menținere de 2-4 ore, urmată de călire și revenire joasă. Adâncimea stratului de difuzie este de 0,7-0,8 mm.

Nitrurarea moale sau carbonitrurarea la temperaturi joase se apli-

că roților dințate din oțeluri aliate de îmbunătățire. Constă din încălzirea roților dințate, îmbunătățite și rectificate în prealabil în băi de săruri topite, ce conțin cianuri și cianați la temperaturi de 540-560° un timp de 1-3 ore. Duritatea obținută după nitrurare este de 500-700 HV.

Parametrii tehnologici de tratament termic și termochimic aplicate oțelurilor pentru roți dințate sînt dați în tabelul 8.9.



Tabelul 8.9

Oțelul	Normali- zare	Cemen- tare	Călire		Revenire		Nitrurare
	T, [°C]	T, [°C]	T, [°C]	mediu	T, [°C]	mediu	T, [°C]
OLC 45	830-850	-	830-850	apă	650 180-220	aer aer	-
OLC 50	820-840	-	820-840	apă	650 180-220	aer aer	-
40Cr 10	840-870	-	820-860	apă	600-680 180-220	apă aer	540-560 -
41MoCr 11	850-880	-	840-860	apă	600-680 180-220	apă aer	540-560 -
34MoCrNi15	840-870	-	830-860	ulei	600-650 180-220	apă aer	540-560 -
33MoCr 11	850-880	-	840-870	apă	600-640 170-220	apă aer	540-560 -
41CrNi 12	820-850	-	800-830	apă	550-600	apă	-
38MoCrAl09	930-960	-	920-950	ulei	620-670	apă	520-560
21MoMnCr12	830-860	870-890	810-830	ulei	170-190	aer	-
18MnCr 10	860-890	870-900	810-830	ulei	170-190	aer	-
13CrNi30	850-880	870-890	760-810	ulei	170-190	aer	-
21TiMnCr12	900-920	890-910	875-910	ulei	170-190	aer	-
20MoNi 35	860-890	880-900	730-760	ulei	170-190	aer	-
17CrNiMo 6	845-900	900-910	840-860	ulei	150-180	aer	-
18CrNi 20	850-880	870-890	760-800	ulei	170-200	aer	-
15Cr 08	870-900	890-910	770-820	apă	150-180	aer	-
18MoCrNi13	860-890	880-900	800-820	ulei	170-190	aer	-
28TiMnCr12	900-920	890-910	860-890	ulei	170-190	aer	-
T35Mn 14	850-880	-	835-865	ulei	580-680	aer	-
T30SiMn12	870-890	-	870-900	apă	570-600	aer	-
T35MoCrNi08	850-870	-	860-890	apă	640-680	aer	-
OT 50	830-890	-	830-850	apă	570-620	aer	-
OT 55	830-850	-	820-840	apă	550-650	aer	-

#### 8.2.5. Tratamente termice și termochimice aplicate arborilor cotiți

Arborii cotiți sînt organe de mașini care transformă mișcarea rectilinie alternativă în mișcare de rotație. În exploatare ei sînt puternic solicitați la oboseală, la șocuri, la încovoiere, la torsiune și la uzare.

Arborii cotiți, în funcție de valoarea solicitărilor la care sînt supuși și de dimensiunile lor, se execută din oțeluri carbon și aliate de îmbunătățire: OLC45; 40Cr10; 41MoCr11; 34MoCrNi15; 35Mn16; 38MoCrAl09; 41CrNi12; 33MoCr11; 30MoCrNi20, din oțeluri aliate pentru cementare: 13CrNi30, oțeluri speciale turnate aliate cu cupru autocălibile (1,35-1,6%C; 0,6-0,8%Mn; 0,85-1,1%Si; 0,4-0,5%Cr; 1,5-2%Cu), fontă cu grafit nodular perlitică: Fgn 450-5; Fgn500-7; Fgn600-2; Fgn700-2.

Obținerea formei arborilor cotiți se face prin aşchiere din bare laminate (rar), prin forjare liberă sau matrițare cu fibraj continuu și prin turnare cînd consumul de metal și de manoperă se reduce foarte mult (pînă la 80%). Arborii cotiți cu dimensiuni foarte mari se execută prin forjare din bucăți asamblate ulterior prin presare. Arborii cotiți de dimensiuni mici și medii din industria de autovehicole, în ultimul timp, se execută din fontă cu grafit nodular, care pe lîngă caracteristici mecanice de rezistență la rupere, au proprietăți ridicate de rezistență la uzare și amortizează vibrațiile.

Tratamentele termice primare și secundare (finale) aplicate arborilor cotiți sînt funcție de natura materialului din care se execută, de formă și dimensiunile acestora.

Tratamentele termice primare au rolul de a asigura semifabricatelor forjate, matrițate sau turnate, omogenizarea și finisarea struc-



turii, detensionarea, ameliorarea prelucrabilității prin aşchiere şi pregătirea structurii în vederea tratamentelor termice finale.

Astfel, semifabricatele din oţeluri obţinute prin forjare liberă sau matrişare se supun unei normalizări pentru eliminarea efectului supraîncălzirii urmate de o recoacere subcritică de globulizare în vederea micşorării durităţii şi îmbunătăţirii prelucrabilităţii prin aşchiere. Structura obţinută în urma acestui tratament termic primar, formată din ferită şi perlită globulară, asigură o susceptibilitate redusă la supraîncălzire în timpul tratamentului termic final.

Normalizarea semifabricatelor forjate sau matrişate din oţeluri carbon utilizate pentru arbori cotiţi constă din încălzire la  $850-860^{\circ}\text{C}$  în cuptoare verticale urmată de răcire în aer liber. Aceste semifabricate nu se supun recoacerii subcritice de globulizare.

Semifabricatele forjate sau matrişate din oţeluri aliate de îmbunătăţire, se normalizează prin încălzire la  $830-880^{\circ}\text{C}$ , cu răcire în aer şi se supun întotdeauna unei recoaceri subcritice de globulizare care constă din încălzire la  $680-720^{\circ}\text{C}$  urmată de răcire odată cu cuptorul până la  $450^{\circ}\text{C}$  apoi în aer liber. Graficul de tratament termic primar aplicat semifabricatelor forjate liber din oţel 41MoCr11, este dat în fig. 258.

Semifabricatele din oţel turnat în funcţie de importanţa arborilor cotiţi se supun unei recoaceri de omogenizare, urmată de normalizare şi eventual de o recoacere subcritică de globulizare.

Semifabricatele turnate din fontă cu grafit nodular se supun unei recoaceri subcritice care asigură, printr-o încălzire lentă cu maxim  $80^{\circ}\text{C/h}$  până la  $500-550^{\circ}\text{C}$ , menţinere 2-6 ore urmată de răcire în cuptor până la  $200-300^{\circ}\text{C}$  apoi în aer (fig. 259), atât ameliorarea prelucrabilităţii cât şi detensionarea.

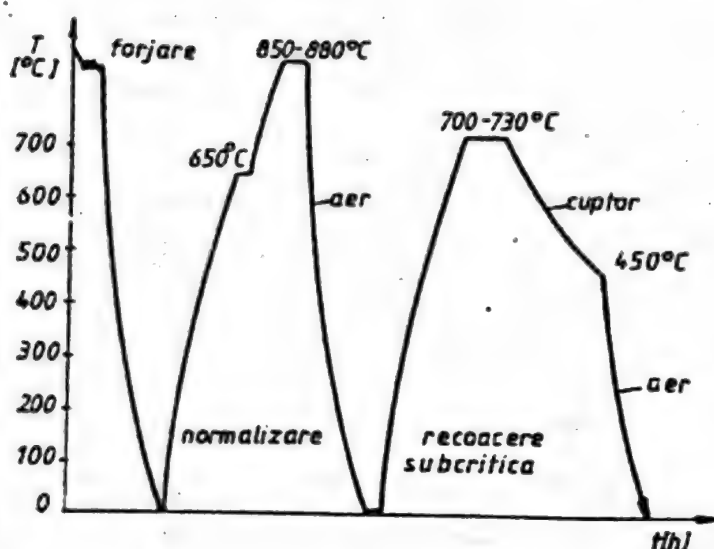


Fig. 258. Tratamentul termic primar al unui semifabricat forjat de arbore cotit din oțel 41MoCr 11.

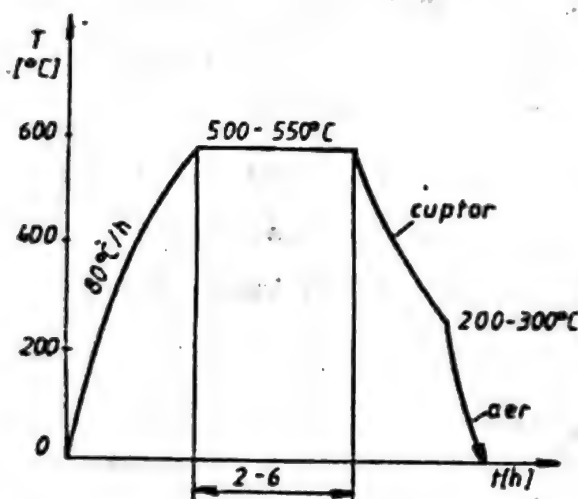


Fig. 259. Tratamentul termic primar în vederea îmbunătățirii, se realizează prin încălzire cu 30-40°C peste punctul critic  $A_{C3}$  al oțelului și răcire în ulei. Încălzirea în vederea călirii se face cu o treaptă de preîncălzire la 650°C. Revenirea înaltă se execută la temperaturi de peste 600°C, iar răcirea se face în apă, ulei sau aer în funcție de susceptibilitatea oțelurilor la fragilitatea de

Tratamentele termice finale aplicate arborilor cotiți au o importanță deosebită, deoarece ele asigură proprietățile mecanice ridicate necesare arborilor cotiți în exploatare. Tratamentele termice finale aplicate arborilor cotiți după prelucrarea prin aşchiere

(aştrunjire) sînt în funcție de natura materialului, de forma și dimensiunile arborilor cotiți. Astfel, arborii cotiți se tratează

termic final în profunzime prin călire urmată de revenire înaltă sau prin călire superficială și revenire joasă. De asemenea arborii cotiți se pot supune cementării sau nitrurării.

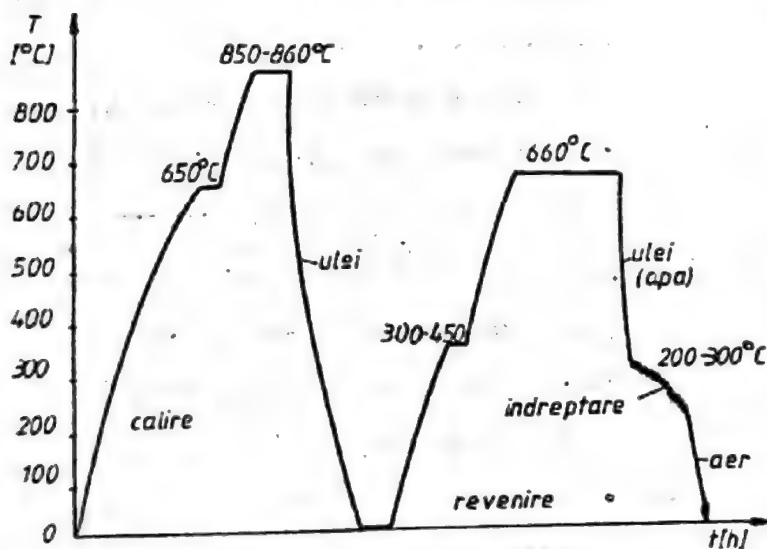
Călire martensitică pătrunsă,

Călire martensitică pătrunsă, în vederea călirii se face cu o treaptă de preîncălzire la 650°C. Revenirea înaltă se execută la temperaturi de peste 600°C, iar răcirea se face în apă, ulei sau aer în funcție de susceptibilitatea oțelurilor la fragilitatea de



revenire. Astfel, oțelurile aliate cu Cr și Mn sau numai cu Cr care sînt foarte susceptibile la fragilitatea de revenire se răcesc în ulei sau apă.

Deformațiile la tratamentul termic final se reduc la minim utilizînd încălzirea cu viteză redusă sau în trepte precum și prin utilizarea unor dispozitive speciale de prindere a arborilor în timpul încălzirii și răcirii. Cînd arborii cotiți prezintă deformații după călire, aceștia se supun operației de îndreptare în stare caldă în timpul răcirii de la revenire. Pentru a preveni decarburarea superficială a arborilor cotiți, încălzirea acestora în vederea călirii pătrunse, se realizează în atmosfere controlate. Graficul de tratament termic final de îmbunătățire a unui arbore cotit din oțel aliat 35Mn16 este dat în fig. 260. Tratamentul termic de îmbunătățire



asigură o structură omogenă sorbitică pe toată secțiunea (180-250HB) care imprimă arborilor cotiți o bună rezistență la șocuri mecanice.

Arborii cotiți de dimensiuni medii și mari supuși unor solicitări pu-

Fig. 260. Graficul de tratament termic final aplicat unui arbore cotit din oțel aliat 35Mn16

terne de oboseală și uzare se supun unei căliri superficiale la temperaturi de 890-930°C urmate de o revenire joasă sau unui tratament termochimic. Se supun călirii superficiale doar fusurilor arborilor cotiți care sînt puternic solicitate la uzare. Se aplică meto-

de de călire superficială simultană prin inducție sau cu flacără.

La călirea superficială prin inducție se utilizează inductori inelari monospirali cu o lățime puțin mai mică decât lungimea fusului alimentați cu o frecvență de 3000 Hz. Tehnologia constă din încălzirea fusului un timp de 5-10 secunde, iar după o pauză de 1...5 secunde necesară uniformizării temperaturii se realizează răcirea cu jeturi de apă la 4-5 atmosfere prin intermediul inductorului. Grosimea stratului călit este de 3...7 mm în funcție de dimensiunile arborilor cotiți, iar duritatea după călire este de 56-58 HRC repartizată pe adâncimea de călire ca în fig. 261. Pentru a nu fi afectată rezistența la oboseală la

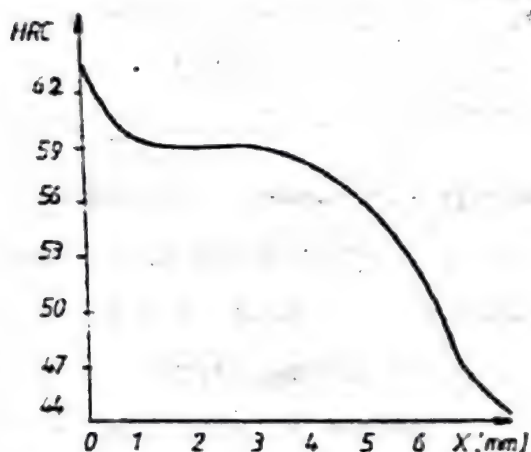


Fig. 261. Variația durității pe adâncimea stratului călit superficial al fusurilor arborilor cotiți.

racordarea fusurilor cu brațele arborelui cotit, se lasă o porțiune de 7-8 mm, la capetele fiecărui fus, necălită. Acest lucru este posibil utilizând un inductor cu o lățime mai mică decât lungimea fusului, fig. 262. În cadrul

producției de masă, se folosesc mașini automate speciale de călire superficială prin inducție si-

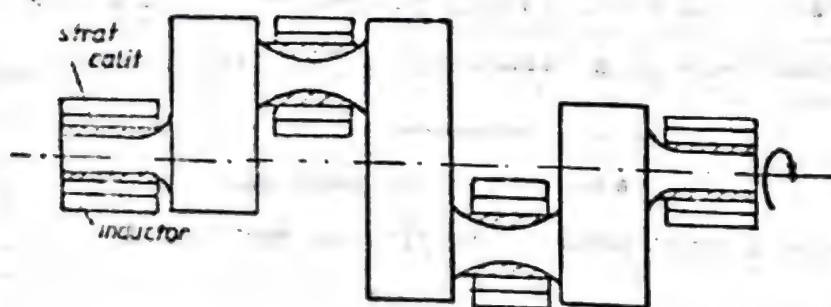
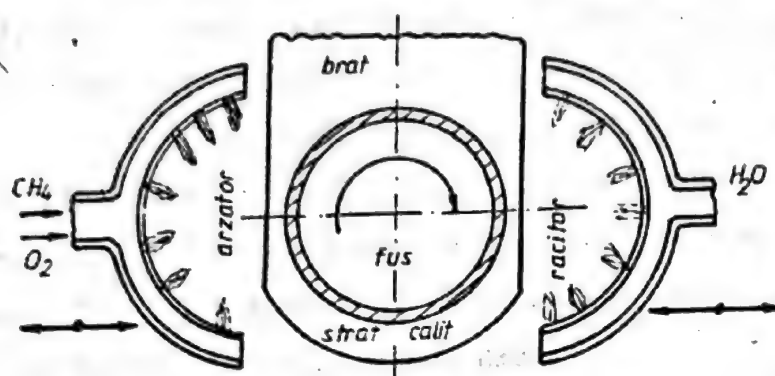


Fig. 262. Forma stratului călit superficial al arborilor cotiți.

multană a tuturor fusurilor, paliere și manetoane. În lipsa instalațiilor scumpe de călire prin inducție se poate utiliza călirea superficială cu flacără, în special



pentru arborii cu dimensiuni mari, cînd fusul se rotește cu viteza de 150-200 mm/min în fața unui arzător semiinelar cu o lățime mai mică decît lungimea fusului, care după încălzire se retrage permițînd a-ducerea unui răcitor cu dug de asemenea de formă semiinelară, fig.263. Du-



pă călirea super-ficială se aplică întotdeauna o re-venire joasă în scopul detensionă-rii la 180-220°C cu menținere de 1-2 ore.

Fig.263.Schema călierii superficiale cu flacără a fusurilor arborilor cotiți.

Uneori fusurile

arborilor cotiți cu dimensiuni mari formați din elemente detașabi-le se supun unor tratamente termochimice de cementare sau nitrura-re. Proprietățile de tenacitate și de rezistență la uzare ale ace-sor arbori sînt mult mai mari decît la arborii tratați termic su-perficial sau în profunzime. Regimurile de tratamente termochimice sînt aceleași ca și în cazul arborilor drepți.

Deformațiile arborilor cotiți sînt mai mari în cazul cementă-rii decît al tratamentelor termice. Întotdeauna, după tratamentele termice, arborii cotiți se supun rectificării fusurilor pentru a co-recta modificările dimensionale și a îmbunătăți calitatea suprafe-țelor.

Parametrii tehnologici ai tratamentelor termice și termochi-mice aplicate materialelor pentru arbori cotiți sînt dați în tabe-lul 8.10.

#### 8.2.6. Tratamente termice și termochimice aplicate axelor cu came

Axele cu came sau arborii de distribuție sînt organe ale

Tabelul 8.10

Materialul	Norma- lizare	Recoa- cere	Cemen- tare	Călire	Reve- nire	Nitru- rare
	T[°C]	T[°C]	T[°C]	T[°C] mediu	T[°C] mediu	T[°C]
OLC45	830-850	680-700	-	830-850 apă	600-650 aer	-
40Cr10	840-870	680-720	-	830-860 ulei	600-650 ulei	520-560
41MoCr11	850-880	700-730	-	820-850 ulei	580-640 ulei	520-560
34MoCrN115	840-880	650-700	-	830-860 ulei	580-630 ulei	-
35Mn16	850-880	680-720	-	850-860 ulei	660 ulei	-
41CrN112	840-870	680-720	-	800-830 ulei	580-650 ulei	-
33MoCr11	850-880	700-730	-	820-850 ulei	600-650 ulei	540-560
30MoCrN120	840-870	650-700	-	830-860 ulei	640-680 aer	-
38MoCrAl09	930-960	710-740	-	920-950 ulei	620-650 ulei	520-560
13CrN130	850-870	680-720	900-930	850-870 ulei	180-190 aer	-
Fgn 450-5	900-950	500-550	-	830-900 ulei	600 aer	-
Fgn 500-7	900-950	500-550	-	880-900 ulei	600 aer	-
Fgn 600-2	900-950	500-550	-	880-900 ulei	600 aer	-
Fgn700-2	900-950	500-550	-	880-900 ulei	600 aer	-



motoarelor cu ardere internă, mașinilor unelte compresoare, etc. care transformă mișcarea de rotație în mișcare de translație alternativă acționând astfel diverse mecanisme.

Sînt organe de mașini solicitate mediu la încovoiere, torsiune și șoc mecanic și solicitate puternic la uzare și oboseală.

Axele cu came se execută din materiale metalice, oțeluri și fonte care au o tenacitate ridicată și o bună rezistență la uzare după tratamentul termic final. Astfel se folosesc oțeluri carbon și aliate de cementare: OLC10; OLC15; OLC20; OLC25; 15Cr08; 13CrNi30; 18MnCr10, oțeluri de îmbunătățire: OLC45; 40Cr10; 35Mn16; 33MoCr11; 41MoCr11, fonte cu grafit lamelar fin Fc 250; Fc300 și fonte cu grafit nodular Fgn 450-5.

Tratamentele termice primare se aplică semifabricatelor forjate, matrișate sau turnate în aceleași scopuri ca și în cazul arborilor cotiți: finisarea structurii, ameliorarea prelucrabilității prin aşchiere, detensionarea și asigurarea obținerii unor proprietăți mecanice ridicate și uniforme după tratamentul termic final.

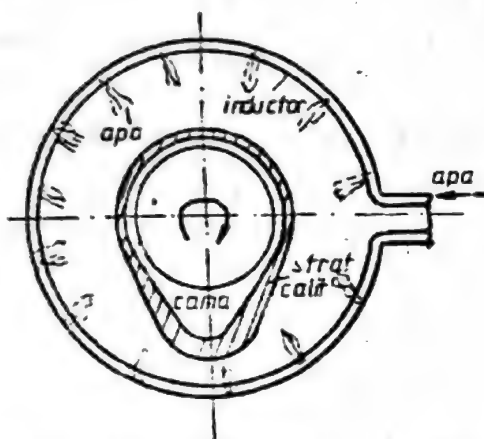
Normalizarea și recoacerea subcritică de globulizare a semifabricatelor forjate și matrișate din oțeluri se aplică în același mod ca și pentru semifabricatele pentru arbori cotiți.

Recoacerea de detensionare a semifabricatelor axelor cu came din fontă constă în încălzirea la 550-600°C, menținere 0,5...1 oră pentru fiecare 25 mm din diametrul lor urmată de răcire lentă cu cuptorul. Temperatura ridicată pentru recoacerea de detensionare asigură și eliminarea eventualelor zone de cementită liberă prin grafitizare.

Tratamentele termice și termochimice finale urmăresc creșterea caracteristicilor mecanice ale miezului și suprafețelor supuse frecării (came și fusuri). În general axele cu came se călesc super-

ficial prin inducție sau cu flacără apoi se revin jos. De asemenea se supun tratamentelor termochimice de cementare și nitrurare.

Călirea superficială a fusurilor și camelor prin inducție se face simultan cu inductoare inelare la o frecvență de 2...10 KHz pe o adâncime de 2...5 mm. Întrucât inductoarele utilizate în mod curent sînt inelare, distanța dintre camă și inductor nefiind constantă, vârful camelor se călesc pe o adâncime mai mare, fig. 264.



După călire superficială de la temperaturi cuprinse între 880-920°C se aplică o revenire joasă la 150-180°C, un timp de cca 2 ore, în vederea detensionării. Duritatea minimă obținută după un astfel de tratament termic final este de 58-60 HRC.

Fig. 264. Schema călirii superficiale prin inducție a unei came.

pentru axe cu came puternic soliditate la oboseală se aplică în tr. intermediar între tr. tr. primar și călire

superficială sub forma unei îmbunătățiri care asigură o tenacitate mare a miezului.

Cementarea este frecvent aplicată axelor cu came pe suprafețele active (selectivă).

Se aplică cementarea în mediu gazos când axele, așezate în dispozitive speciale pentru a preveni deformarea, se încălzesc la 900-930°C în mediu activ, un timp de 16-18 ore pentru a obține un strat cementat de 1,5-2 mm cu răcire în aer liber. După cementarea selectivă a fusurilor și camelor, axele cu came se călesc prin încălzire în prese speciale, la 860-900°C, un timp de 40...60 minute, apoi se răcesc în ulei sau apă cu tot cu prezele respective. Călire este continuată cu o revenire joasă la 200°C cu menținere de



Tabelul 8.11

Materialul	Norma- lizare	Recoa- cere	Cemen- tare	Călire	Revenire	Nitrurare
	T <sup>o</sup> C]	T <sup>o</sup> C]	T <sup>o</sup> C]	T <sup>o</sup> C] mediu	T <sup>o</sup> C] mediu	T <sup>o</sup> C]
OLC10	880-900	-	900-930	880-920 apă	180-200 aer	-
OLC15	880-900	-	900-930	880-900 apă	180-200 aer	-
OLC20	870-890	-	900-930	870-890 apă	180-200 aer	-
OLC25	870-890	-	900-930	860-880 apă	180-200 aer	-
15Cr08	870-900	690-720	900-930	860-880 ulei	160-200 aer	-
13CrNi30	850-870	680-720	900-930	850-870 ulei	170-200 aer	-
18MnCr10	860-890	870-900	870-900	860-890 ulei	160-200 aer	-
OLC45	830-850	680-700	-	călire superficială 880-910 apă	16 -180 aer	-
40Cr10	840-870	680-720	-	călire superficială 890-920 apă	150-180 aer	520-560
35Mn16	850-880	680-720	-	călire superficială 890-920 apă	150-180 aer	-
13MoCr11	850-880	700-730	-	călire superficială 890-920 apă	150-180 aer	540-560
11MoCr11	850-880	680-720	-	călire superficială 890-920 apă	150-180 aer	520-560
Fc250	850-950	550-600	-	850-890 ulei	600 aer	500-580
Fc300	850-950	550-600	-	850-890 ulei	600 aer	500-580
Fgn450-5	850-950	550-600	-	850-890 ulei	600 aer	500-580

2 ore și răcire în aer, asigurându-se o duritate de 58-64 HRC.

Cînd axele cu came tratate fără dispozitive speciale s-au deformat la tratamentul termic final, se supun operației de îndreptare pe prese.

După tratamentul termic final urmează rectificarea suprafețelor active ale axelor cu came.

Parametrii tehnologici de tratament termic și termochimic aplicat materialelor pentru axe cu came sînt dați în tabelul 8.11.

#### 8.2.7. Tratamente termice aplicate batiurilor

Batiurile sînt organe de mașini, masive, rigide, cu formă complexă ce fixează structura mașinilor unelte, puternic solicitate la vibrații, la încovoiere, la uzare și oboseală.

Materialele din care se execută batiurile precum și tratamentele termice și termochimice aplicate trebuie să asigure acestor organe proprietăți ridicate de rezistență la șocuri, la uzare și o capacitate ridicată de amortizare a vibrațiilor. Batiurile se execută, în special, din fonte cenușii Fe200; Fe250 și Fe300 prin turnare. De asemenea, în ultimul timp, batiurile se execută prin sudare din oțeluri aliate.

Tratamentele termice primare aplicate atât batiurilor turnate din fontă cenușie cît și celor sudate din oțeluri constau din detensionări, care pe lîngă eliminarea tensiunilor interne determină creșterea stabilității dimensiunilor și formeii batiurilor. Detensionarea batiurilor după turnare sau sudare se impune cu necesitate deoarece contracțiile diferite ale diverselor porțiuni în timpul răcirii introduc tensiuni interne de valori mari care pot duce la deformații elastice, plastice și chiar la fisuri. Batiurile turnate din fontă cenușie se detensionează fie natural, fie artificial prin încălzire sau vibrare.



Detensionarea naturală constă în menținerea batiurilor după turnare un timp de 1/2-1 an în atmosferă liberă, când tensiunile se reduc cu 15-25%.

Efecte economice mult mai bune se obțin dacă imediat după turnare batiurile se degroșează prin aşchiere. În caz contrar, se impune ca și după operația de aşchiere (frezare) de degroșare batiurile să se supună detensionării fapt ce micșorează productivitatea muncii. Detensionarea naturală, elimină doar parțial tensiunile interne, motiv pentru care în ultimul timp, se aplică foarte rar.

Detensionarea artificială prin încălzire, este o metodă foarte răspândită ce prezintă o eficiență tehnologică mult mai ridicată (tensiunile se elimină aproape complet, iar stabilitatea formei și dimensiunilor în timp este foarte mare). Constă din încălzirea batiurilor după operația de turnare sau aşchiere de degroșare, cu o viteză foarte mică ( $40...50^{\circ}\text{C/h}$ ) până la temperaturi de  $500-550^{\circ}\text{C}$ , menținere cca o oră pentru fiecare 25 mm din grosimea maximă a batiurilor, urmată de o răcire cu viteză foarte redusă ( $30-40^{\circ}\text{C/h}$ ) odată cu cuptorul până la  $150-300^{\circ}\text{C}$ , apoi în aer liniștit, fig. 265.

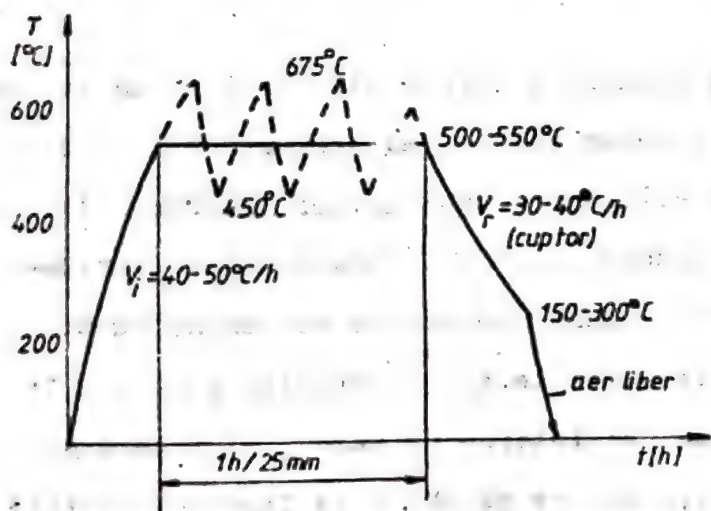


Fig. 265. Graficul reconstrucției de detensionare al batiurilor din fontă.

Respectarea parametrilor tehnologici ai regimului de detensionare artificială se impune cu rigurozitate pentru a asigura eliminarea tensiunilor interne și a evita riscul grafitizării fontei.

Batiurile cu dimen-

siuni mari și forme deosebit de complexe ale mașinilor unelte de mare precizie, care trebuie să posede o stabilitate ridicată a formei și dimensiunilor în timp, se pot detensiona printr-o pendulare ciclică între 450-675°C un timp de 2-5 ore cu încălziri și răciri lente (linia punctată din fig.265).

În procesul de detensionare artificială prin încălzire a batiurilor rol preponderent în eliminarea tensiunilor interne îl are temperatura de încălzire. Legătura dintre temperatura de încălzire pentru detensionare (T) și timpul de menținere la această temperatură (t) este dată prin parametrul Hollomon (P):

$$P_{H0} = T(20 + \lg t) \cdot 10^{-3} \quad (8.2)$$

Gradul de detensionare, adică raportul dintre tensiunile interne reziduale  $\bar{\sigma}_{rez}$  și tensiunile interne inițiale  $\bar{\sigma}_{in}$ , în procente, este o funcție liniară de parametrul Hollomon, fig.266.

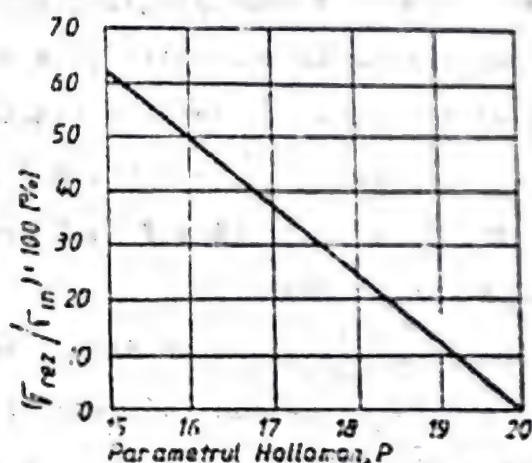


Fig.266. Variația gradului de detensionare cu parametrul Hollomon

Prin încălzire la 500°C în prima oră de menținere se elimină cca 25% din tensiunile inițiale iar după 10 ore cca 40%, iar ridicând temperatura la 600°C în aceleași perioade se elimină 65% respectiv 70%.

Detensionarea artificială a batiurilor prin vibrație mecanică sau cu ultrasunete reprezintă un procedeu nou, modern și foarte productiv, care pe lângă faptul că realizează o bună detensionare, determină și creșterea rezistenței la rupere a fontei.

Frecvența vibrațiilor utilizate trebuie să fie de minim



3000 vibrații/min. Timpul de detensionare în acest caz se reduce la cca 2-4 ore în funcție de mărimea batiurilor.

Batiurile realizate din construcții sudate din oțel se supun detensionării artificiale prin încălzire. Încălzirea se face cu viteză redusă până la 600-680°C un timp de 2-4 minute pentru fiecare mm din grosimea batiului, urmată de răcire lentă cu cuptorul până la 200-300°C, apoi în aer liber.

Batiurile pretențioase sudate se supun înainte de detensionare unei încălziri a cusăturilor sudate în vederea uniformizării structurii.

Cînd în urma operației de așchiere de degroșare în batiurile din construcții sudate se introduc tensiuni interne, acestea se supun din nou unei detensionări artificiale.

Tratamentele termice finale se aplică doar părților active ale batiurilor (ghidaje), în scopul creșterii durității și a rezistenței la uzare a acestora, deci sînt tratamente termice (căliri) superficiale. Rezultatele călirii superficiale a batiurilor din fontă depind în mare măsură de structura inițială a fontei cenușii. Astfel, fonta cenușie pentru batiuri trebuie să posede o structură formată din perlită fină cu grafit lamelar de mărime medie și steadită în cantitate medie care să nu conțină cementită liberă. Prezența cementitei libere, a grafitului grosolan și a eutecticului fosforos (steadita) în cantitate mare - fragilizează fonta și constituie amorse de fisuri la călirea superficială.

Călirea superficială se aplică după operațiile de așchiere de finisare și se face fie prin inducție fie cu flacără.

Călirea superficială a ghidajelor batiurilor prin inducție este o călire succesivă prin care inductorul deschis și răcitorul se deplasează în lungul suprafețelor ghidajelor, fig. 267. Se utili-

*Handwritten signature*

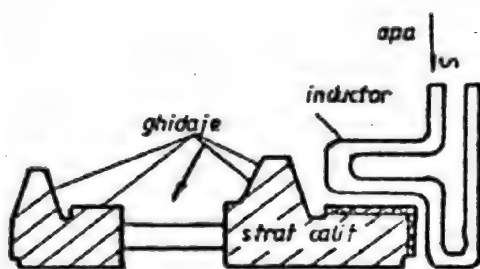


Fig. 267. Schema călirii succesive prin inducție a ghidajelor batiurilor.

zează un curent de frecvență medie sau înaltă (2000-8000 Hz) dat de un generator de putere minimă de 30 KW. Astfel se obțin adâncimi ale stratului călit de 1,5-3 mm.

Călirea superficială cu flacără se utilizează în special pentru batiuri cu dimensiuni

mari. Se folosește în varianta călire superficială succesivă, când arzătorul de formă adecvată formei ghidajelor, urmat la mică distanță (20-25 mm) de răcitorul cu jet de apă se deplasează cu o viteză de 100-150 mm/min în lungul batiului, realizând călire superficială a straturilor pe o adâncime de 3-6 mm, fig. 268.

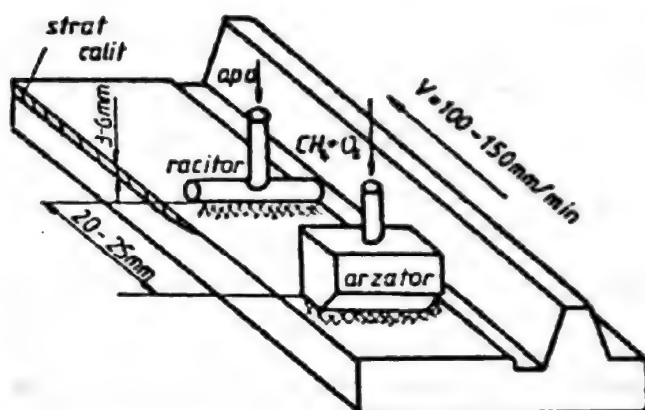


Fig. 268. Schema călirii superficiale cu flacără succesivă a ghidajelor batiurilor mari.

Prin călire superficială duritatea superficială a ghidajelor batiurilor din fontă cenușie crește cu cca 300 HB față de duritatea fontei după recoacerea de detensionare.

In ultimul timp ghidajele batiurilor se plachează cu mase plastice foarte rezistente la uzare.

#### 8.2.8. Tratamentele termice aplicate segmentilor pentru pistoane

Segmentii sînt organe de mașini care asigură etanșietatea



sau ungerea dintre pistoane și cămășile de cilindri la motoarele cu ardere internă.

În general segmentii de pistoane se execută din fontă austenitică și refractară aliată cu Ni, Cr, Si, Al modificată cu grafitul acicular fin (FeNiSiCr20.5.3; FeAlNiCr20.3; FeCr30; FeSi5etc.)

Sînt organe de mașini solicitate la uzare și care trebuie să posede o elasticitate ridicată și constantă în timp și la temperaturi mari. Elasticitatea segmentilor se realizează și se stabilizează printr-un tratament termic denumit termofixarea sau termostabilizarea segmentilor pentru pistoane.

Segmentii după strunjire și tăiere în lungul unei generatoare se trag pe un dorn (țeavă) cu un diametru mai mare pentru a realiza o deschidere de 2-3 mm. În această stare segmentii sînt tensionați mecanic, stare care se elimină printr-o încălzire pe dorn la 600-650°C un timp de 45 minute după care urmează o răcire lentă. Pentru a stabili elasticitatea segmentilor, aceștia ulterior se reîncălzesc la 400°C timp de 2-4 ore și se răcesc în aer. Uneori, pentru creșterea rezistenței la uzare, segmentii se tratează termochimic prin cromizare, silicizare și în special prin sulfizare.

#### 8.2.9. Tratamente termice și termochimice aplicate cămășilor de cilindri

Cămășile de cilindri sînt organe de mașini sub formă de buge solicitate puternic la uzare, coroziune, temperatură înaltă și șocuri termice, ce intră în componența motoarelor cu ardere internă, a compresoarelor, etc.

Se execută din fontă cenușie nealiată modificată cu grafitul lamelar fin (Fe250; Fe300; Fe350), din fontă antifricțiune aliată cu crom și molibden cu grafit lamelar fin (FeAl; FeA2; FeA3) sau din oțeluri pentru nitrurare (38MoCrAl09).

Tratamentele termice primare se aplică cămășilor din fontă imediat după turnare sau după turnare și o primă degrogare prin strunjire și constau dintr-o recoacere de detensionare cu încălzire la  $550-600^{\circ}\text{C}$ , menținere 2-4 ore urmată de răcire lentă cu cuptorul.

Cămășile din oțel nu se tratează termic primar deoarece se folosesc semifabricate laminate care sînt livrate în stare normalizată.

Tratamentele termice secundare se aplică cămășilor de cilindri după prelucrarea prin așchiere fină și înainte de rectificare și superfinisare, în scopul creșterii durității și rezistenței la uzare a suprafeței active (cilindrice interioare). Se aplică căliri pătrunse urmate de revenire joasă, căliri superficiale a suprafeței interioare urmate de reveniri joase sau tratamente termochimice de nitrurare,

Călirea pătrunsă se aplică atât cămășilor din fontă cît și din oțel. Cămășile din fontă se încălzesc la  $850-890^{\circ}\text{C}$ , se mențin în funcție de grosimea pereților și apoi se răcesc în ulei. Cămășile de cilindru cu dimensiuni mari și cu pereți subțiri se călesc în prese speciale pentru a se preveni deformarea. Presele utilizate asigură strîngerea cămășilor atât pe direcție radială cît și axială. Revenirea joasă se face la  $180-200^{\circ}\text{C}$  urmată de răcire în aer liber și asigură o duritate de minim 45-50 HRC.

Călire superficială a suprafeței cilindrice interioare se face prin inducție folosind un inductor fix monospiral cu un diametru exterior puțin mai mic decît diametrul cămășii de cilindru ce urmează a fi călită și care intră în interiorul cămășii de cilindru. Se utilizează frecvențe de 2000-3000 Hz ce asigură o adîncime de călire de 1,5-2,5 mm. Răcirea se execută cu un răcitor fix



cu apă amplasat imediat după inductor în interiorul cămășii de cilindru care execută o mișcare de avans axial și una de rotație.

Revenirea joasă după călirea superficială se aplică la 200 °C în scopul detensionării.

Nitrurarea se aplică în special cămășilor de cilindri executate din oțeluri pentru nitrurare aliate cu Cr, Mo și Al, după un tratament prealabil de îmbunătățire (călire în apă caldă de la 920-930 °C, urmată de revenire la 620 - 650 °C). Nitrurarea se face prin încălzire într-un mediu de amoniac la 520-560 °C, menținere și răcire în același mediu până la 200 °C, apoi în aer liber.

Se obține un strat nitrurat de cca. 0,5 ... 0,7 mm. Nitrurarea este selectivă (doar a suprafeței interioare); în acest scop suprafața exterioară se protejează cu un strat subțire (1 mm) de sticlă solubilă uscat la 150 °C timp de 1,5 ore.

Prin nitrurare crește atât rezistența la uzare cât și rezistența la coroziune. Uneori nitrurarea se aplică și cămășilor de cilindri executate din fontă aliată cu Cr, Mo și Al.

#### 8.2.10. Tratamente termice aplicate cusăturilor sudate

Cusăturile sudate (în special cele prin topire cu arc electric) sînt porțiuni din organe de mașini cu o structură și stare tensională eterogenă. Astfel, zona materialului de adaos (ZMA) prezintă după sudare o structură dendritică grosolană specifică de solidificare, iar compoziția chimică este diferită de cea a materialului de bază. Zona de trecere (ZT) de la materialul de adaos la materialul de bază este caracterizată printr-o structură de supraîncălzire și are o compoziție chimică eterogenă. Zona influențată termic (ZIT) face parte din materialul de bază, urmează imediat după zona de trecere și prezintă o structură cu un caracter

eterogen pronunțat: structură de supraîncălzire vecină cu zona de trecere, structură de normalizare și structură de recristalizare completă și incompletă înspre materialul de bază. Caracterul eterogen al structurii și compoziției chimice, cât și tensiunile interne de valori ridicate fac din cusăturile sudate porțiuni de minimă rezistență în organele de mașini și construcțiile metalice. Din acest motiv cusăturile sudate se supun unor tratamente termice, care în funcție de natura lor și natura organelor de mașini pot fi primare sau finale.

Refacerea structurii cusăturii sudate se realizează printr-o recoacere de normalizare. Austenitizarea se face fie prin încălzirea locală a cusăturilor sudate fie prin încălzirea întregului ansamblu.

În urma răcirii în aer liber rezultă o structură finală și uniformă. Subansamblele pretențioase se supun după normalizare și unei recoaceri de detensionare. Aceste tratamente termice pot fi atât primare cât și finale.

Parametrii tehnologici ai tratamentelor termice de normalizare și detensionare se stabilesc în funcție de natura materialului, de forma și dimensiunile pieselor sudate. Se supun întotdeauna tratamentelor termice de refacere a structurii și de detensionare subansamblele sudate ale recipientilor din industria chimică și alimentară, recipiente de vid sau de presiuni înalte, batiuri, șanii de mașini unelte și utilaje, boghiuri pentru vagoane și locomotive, subansamble din industria navală, aeronautică etc.

Aceste tratamente termice asigură organelor de mașini și construcțiilor sudate stabilitate dimensională și păstrarea formei în timpul exploatării.



### 8.2.10.1.

Clasificarea tratamentelor termice aplicate îmbinărilor  
și construcțiilor sudate în raport cu poziția lor față  
de operația de sudare.  
=====

Utilizarea pe scară largă în construcțiile sudate, a oțelurilor aliate cu tehnologii speciale de sudare cuprinzând și diferite tratamente termice, este posibilă numai prin perfecționarea continuă a tehnologiei aplicate. Cu toate că în practică se admite o oarecare libertate în alegerea tratamentului termic totuși sînt necesare norme care să indice tratamentele optime pe baza unor date sigure și verificate.

Din punct de vedere al poziției tratamentului termic aplicat față de operația de sudare ele se pot împărți în trei grupe:

- a)-tratamente termice înainte de sudare ;
- b)- " " în timpul sudării ;
- c)- " " după sudare .

În afară de aceste tipuri distincte de tratamente termice aplicate construcțiilor sudate există și numeroase combinații ale acestor tratamente care formează grupuri de tratamente termice complexe.

### 8.2.10.2

Tratamente termice înainte de sudare.  
=====

Aceste tratamente termice se aplică diferențiat în funcție de materialul folosit în construcția sudată, cu scopul de a pregăti porțiunea de sudare, atunci cînd starea materialului nu corespunde cerințelor impuse de procesul tehnologic de sudare. Cele mai folosite sînt:

-recoacerea și detensionarea a oțelurilor turnate și deformate plastic la cald;

-recoacerea de decristalizarea a oțelurilor deformat plastic la rece.

-călirea de punere în soluție a oțelurilor austenitice  
Ciclurile termice caracteristice sînt în funcție de calitatea materialului și mărimea piesei.

### 8.2.10.3

#### Tratamente termice în timpul sudării

=====

Aceste tratamente constă în diverse tipuri de preîncălzire care se aplică construcțiilor de dimensiuni mari din oțeluri cu sensibilitate la fisurare .

La stabilirea regimului de preîncălzire se ține seama de următorii factori:

- compoziția chimică a oțelului ;
- forma și dimensiunea piesei ;
- sensibilitatea la fisurare .

de aceeași factori se ține seama și la alegerea tipului de tratament termic de preîncălzire, după cum urmează:

-Preîncălzirea simplă constă în încălzirea piesei pînă la temperatura cerută de procesul tehnologic de sudare , executîndu-se sudarea în timp ce piesa se răcește. Metoda se folosește la sudarea unor piese cu configurație simplă confecționate din oțeluri sensibile la durificare.

-Sudarea cu temperatură de lucru constantă. În acest fel se obțin proprietăți sigure ale îmbinării sudate deoarece regimul termic al procesului de sudare nu este influențat de variația temperaturii piesei. Temperatura de încălzire se adoptă pe baza unor norme sau se calculează.

- Sudarea cu ridicarea temperaturii de lucru prin sudare. Prin acest procedeu se urmărește înlăturarea formării martensitei prin



reținerea căldurii rezultate din procesul de sudare, care în unele cazuri este suficientă pentru evitarea vitezei critice de răcire. Reținerea căldurii necesare evitării vitezei critice de răcire se poate obține prin sudarea consecutivă a straturilor sau prin sudarea cu electrozi cu înveliș gros.

Tratamentul termic de preîncălzire face parte integrantă din normele de sudabilitate ale oțelului. Executarea incorectă a tratamentului termic de preîncălzire duce la apariția fisurilor în cusătură sau în zona influențată termic. Prin preîncălzire tensiunile scad sub limita fisurării.

Pentru determinarea temperaturii de preîncălzire există mai multe metode a căror efect se determină prin încercări de duritate, încercări microstructurale sau pe încercări de reziliență și tracțiune. Temperaturile de preîncălzire pot fi determinate și cu ajutorul metodei de călire frontală, după curba Jominy. Pentru aceasta sînt necesare tabele determinate experimental pentru diferite temperaturi de preîncălzire, luîndu-se în considerație grosimea tablei, forma cusăturii și diametrul electrodului. Cea mai utilizată metodă de determinare a temperaturii de preîncălzire, preferată datorită simplității ei, se bazează pe conținutul echivalent de carbon. Pentru calculul conținutului echivalent de carbon, în cazul înbinărilor sudate se folosește relația lui Seferian:

$$C_e = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr+Mo+V}{10}$$

În această relație simbolurile elementelor de aliere reprezintă și procente lor din oțel.

Pentru a se lua în considerație și influența grosimii materialului asupra sudabilității, se calculează un carbon echivalent secundar:

$$C'_e = 0,005 \times d \times C_e$$

$\delta$  = grosimea materialului în mm

Cu ajutorul celor două mărimi calculate se determină carbonul echivalent total:

$$C_e'' = C_e + C_e' = C_e (1 + 0,005\delta)$$

Determinarea temperaturii de preîncălzire se face cu relația:

$$\theta_{pr} = 350 \sqrt{C_e'' - 0,25} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Preîncălzirea este costisitoare iar pentru sudor condițiile de muncă se înrăutățesc. De aceea, înainte de a recomanda preîncălzirea pieselor de sudat, trebuie luate în considerație toate posibilitățile de a o înlătura, sau a recomanda o temperatură minimă care să asigure calitatea îmbinării.

8.2.104

#### Tratamentele termice după sudare

Aceste tratamente se aplică după sudarea și răcirea piesei, ele se aleg în funcție de compoziția chimică a metalului, mărimea și destinația piesei și tehnologia de sudare aplicată. Din această categorie fac parte:

- Recoacerea de detensionare ;
- " " normalizare ;
- Călire de punere în soluție și revenirea oțelurilor austenitice ..

În cazul construcțiilor sudate cel mai important tratament termic aplicat după realizarea construcției este detensionarea care poate fi termică sau mecanică. Având în vedere că detensionarea construcțiilor sudate prezintă numeroase particularități și că celelalte tratamente aplicate după sudare sînt comune și altor tehnologii de prelucrare, se va trata în acest grup de tratamente numai tehnologia detensionării.

Tensiunile interne introduse prin sudare se suprapun peste tensiunile rezultate prin solicitarea în exploatare scăzînd capacitatea



portantă a construcției.

Determinarea gradului de detensionare se realizează practic cu ajutorul probelor martor, care sînt sudate în aceleași condiții ca și construcția. Aceste probe sînt supuse detensionării o dată cu construcția sudată, după care se supun măsurătorilor în vederea determinării gradului de detensionare. În figura 269 este prezentată o probă specifică determinării gradului de detensionare. Proba are forma unui cadru închis, avînd executată o sudură MN, care produce o stare tensională. Dimensiunile epruvetei (probei) se determină în funcție de grosimea tablei.

Contractia sudurii MN care produce starea tensională acționează asupra porțiunii PQ, care prin tăiere după sudare produce o destindere  $K' - K = h$ . Dacă la o probă sudată se aplică un tratament de detensionare atunci mărimea:  $K' = K = h$

Gradul procentual de detensionare se determină cu relația:

$$G = \frac{h' - h}{h} \cdot 100 (\%)$$

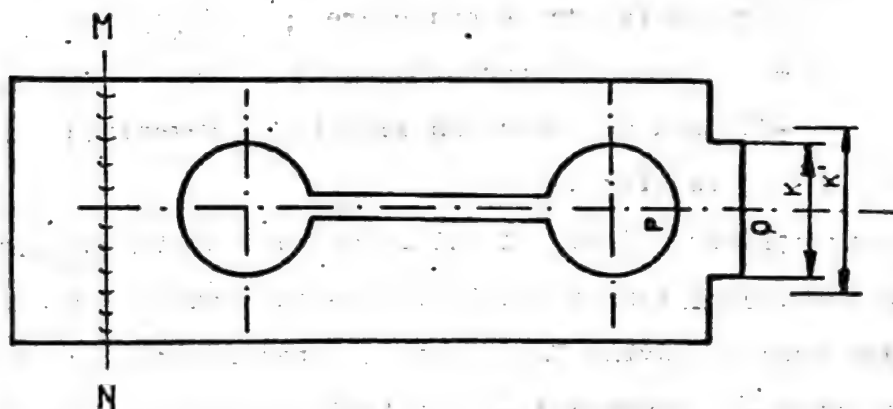


Fig 269 Epruvetă pentru determinarea gradului de detensionare termică a cusăturilor sudate.

Încălzirea se recomandă a se face cu o viteză de  $\frac{50000}{e} ^\circ\text{C/h}$ , dar să nu depășească  $220^\circ\text{C/h}$ , unde  $e$  = grosimea tablelor sudate.

Mentținerea la temperatură se realizează la o durată de 2 minute pentru fiecare milimetru grosime de tablă.

Pentru determinarea gradului de detensionare termică se pot folosi și metode analitice, care în funcție de modelul fizico-matematic adoptat, se pot apropia mai mult sau mai puțin de modelul real.

Cunoscând factorii de influență care determină starea de tensiune a unui metal la o anumită temperatură, se poate găsi o dependență funcțională între acești factori în așa fel încât să reflecte fenomenul real al detensionării termice. Parametrii care stabilesc starea de tensiune a unui corp metalic supus unui ciclu de încălzire sînt:

- Variația limitei de curgere cu temperatura;
- Variația modulului de elasticitate cu temperatura;
- Variația caracteristice de curgere lentă cu temperatura;

Dependența funcțională dintre acești parametri poate fi stabilită numai pe baza unor ipoteze de calcul.

#### 8.2.10.5

Determinarea gradului de detensionare prin folosirea unui model reologic pretensionat și supus detensionării termice

Această ipoteză are avantajul că se pot construi modele reologice complexe pentru corpul metalic pretensionat în așa fel încât să redea cît mai fidel comportarea corpului real metalic sub influența temperaturii și efortului.

Pentru alcătuirea modelelor reologice se folosesc trei elemente fundamentale.

Combinînd aceste trei elemente se poate realiza un model care să satisfacă la cît mai multe din proprietățile corpului real, astfel, pentru corpul din oțel trebuie să fie satisfăcută diagrama  $\sigma = f(\epsilon)$  chiar într-o formă simplificată, precum și comportarea dinamică a oțelului (fluaj). Modelul reologic realizat trebuie să aibă deci următoarele proprietăți:

- elasticitate;
- fluaj;



- plasticitate cu ecruiare.

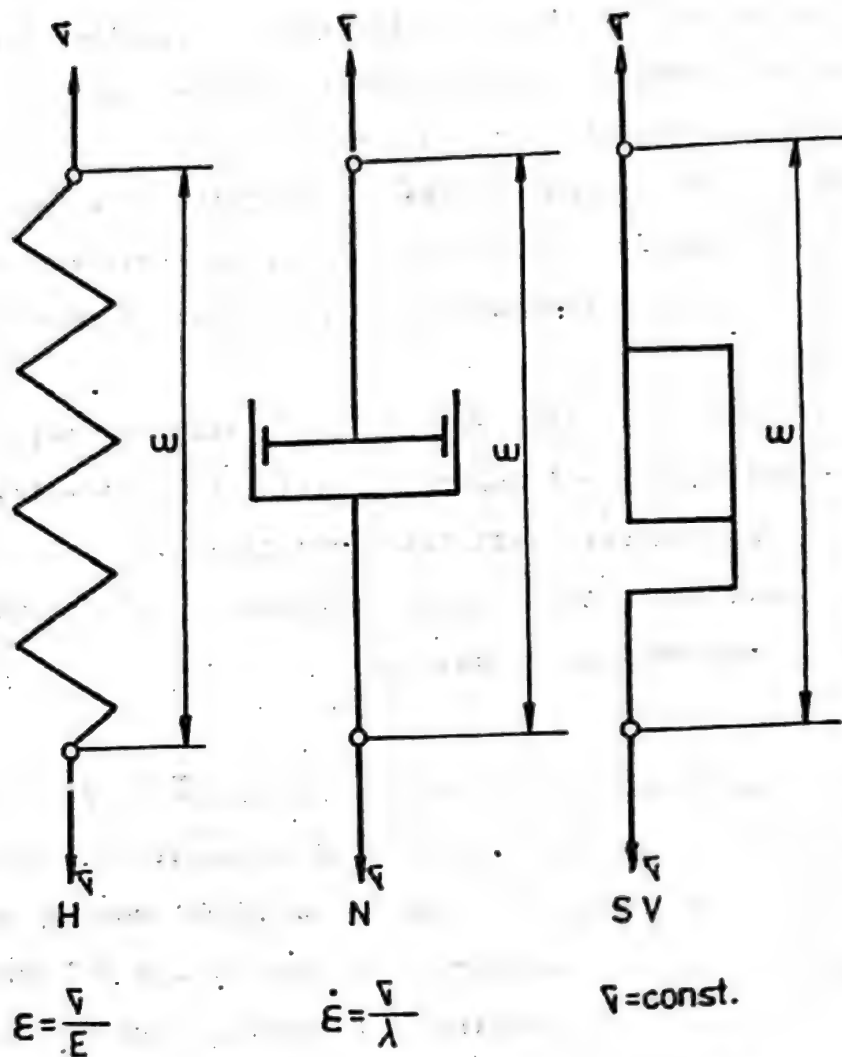


Fig.27o. Elementele fundamentale ale modelelor reologice

In fig.27o literele au următoarele semnificații:

H - corpul perfect elastic;

N - corpul viscos;

SV - corpul cu frecare internă.

Elementele H și SV sînt independente de timp pe cînd elementul N este dependent de timp.

Un model reologic care să satisfacă aceste proprietăți este prezentat în fig. 271

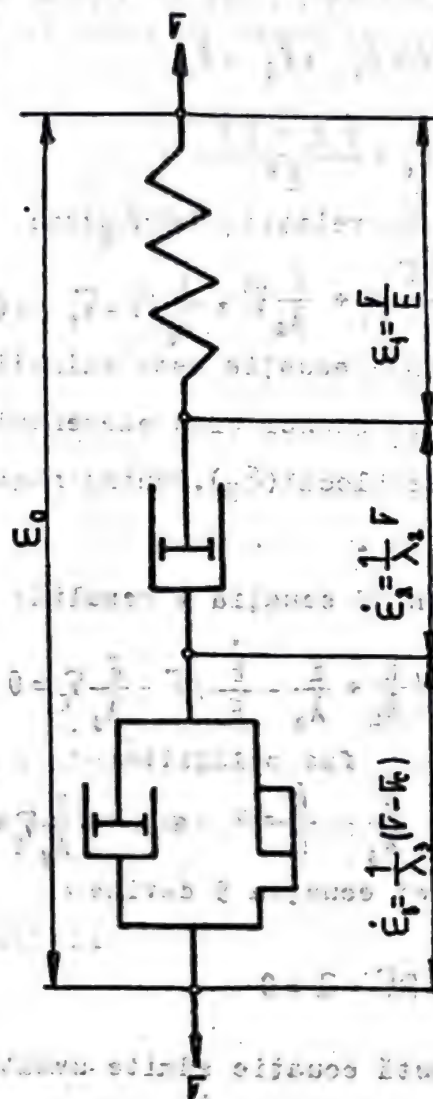


Fig. 271 - Model reologic pretensionat pentru oțel.

$\epsilon_1$  - componenta elastică

$\epsilon_2$  - componenta de fluaj

$\epsilon_3$  - componenta de deformare plastică cu ecruizare

$\lambda_2, \lambda_3$  - coeficienți de viscozitate

$E$  - modul de elasticitate

$\sigma_c$  - tensiunea la limita de curgere

$\sigma$  - tensiunea de solicitare a modelului

$\epsilon_0$  - deformarea inițială corespunzătoare tensiunii interne inițiale.



Ecuatia de echilibru a modelului va fi:

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \quad (1)$$

diferențiind în raport cu timpul vom avea:

$$0 = \dot{\varepsilon}_1 + \dot{\varepsilon}_2 + \dot{\varepsilon}_3 \quad (2)$$

$$\dot{\varepsilon}_1 = \frac{\dot{V}E - \dot{E}V}{E^2} \quad (3)$$

înlocuind în relația (2) vom avea:

$$\frac{\dot{V}E - \dot{E}V}{E^2} + \frac{1}{\lambda_2}V + \frac{1}{\lambda_3}(V - V_c) = 0 \quad (4)$$

Această ecuație este valabilă numai pentru perioada când

$V > V_c$ , adică atunci când elementul de frecare din componenta plastică nu este blocat ( $\varepsilon_3$ ). Pentru restul perioadei modelul este fără componenta  $\varepsilon_3$ .

Ordonând ecuația 4 rezultă:

$$V + \left( \frac{E}{\lambda_2} + \frac{E}{\lambda_3} - \frac{\dot{E}}{E} \right) V - \frac{E}{\lambda_3} V_c = 0 \quad (5)$$

dacă se fac notațiile:

$$\frac{E}{\lambda_2} + \frac{E}{\lambda_3} - \frac{\dot{E}}{E} = P \quad \text{și} \quad -\frac{E}{\lambda_3} V_c = Q$$

atunci ecuația 5 devine

$$\dot{V} + PV + Q = 0 \quad (6)$$

Această ecuație admite următoarea soluție:

$$V = e^{-\int_0^t P dt} \left[ C - \int_0^t e^{\int_0^t P dt} Q dt \right] \quad (7)$$

Atât P cât și Q sînt funcții de timp.

Cunoscînd variația cu temperatura a parametrilor  $E, V, \lambda_2, \lambda_3$  precum și dependența temperaturii de timp prin intermediul ciclului de încălzire  $T(t)$  se poate efectua calculul pentru determinarea variației tensiunii pe parcursul ciclului de încălzire, în perioada când  $V > V_c$ .

Constanta C se determină punînd condiția că la începutul perioadei

tensiunea este egală cu tensiunea inițială.

Pentru perioada de ciclu de încălzire, menținere și răcire când  $V < V_c$  ecuația se stabilește neținând seama de deformarea  $\epsilon_3$ :

$$\dot{\epsilon}_1 + \dot{\epsilon}_2 = 0 \quad (8)$$

înlocuind vom avea:

$$\frac{\dot{V}E - \dot{\epsilon}V}{E^2} + \frac{1}{\lambda_2}V = 0 \quad (9)$$

respectiv:

$$\dot{V} + \left(\frac{E}{\lambda_2} - \frac{\dot{\epsilon}}{E}\right)V = 0 \quad (10)$$

dacă se notează cu:

$$M = \frac{E}{\lambda_2} - \frac{\dot{\epsilon}}{E}$$

ecuația devine:

$$\dot{V} + MV = 0 \quad (11)$$

care admite soluția:

$$\ln V = C_1 - \int_0^t M dt \quad (12)$$

Pentru prima porțiune a ciclului de detensionare se pun condiții inițiale de determinare a constantei de integrare  $C_1$  adică pentru  $t=0 \rightarrow V = V_0$

$V_0$  = tensiunea internă inițială

$$\ln V_0 = C_1 - \int_0^t M dt$$

$$V = V_0 \cdot e^{-\int_0^t M dt} \quad (13)$$

Ecuația (13) este valabilă la limită pentru  $V = V_c$  când se determină o valoare  $t_1$  a domeniului de valabilitate, căruia îi va corespunde o tensiune  $V_1$ . Pentru perioada de menținere relația (13) se simplifică întrucât  $M$  este constant.  $M = \frac{E}{\lambda_2}$  ..

Pentru perioada de răcire se folosește deasemenea relația (13) în care  $T(t)$  are altă funcție (descrescătoare)

Cu aceste relații determinate se poate construi graficul general de detensionare.



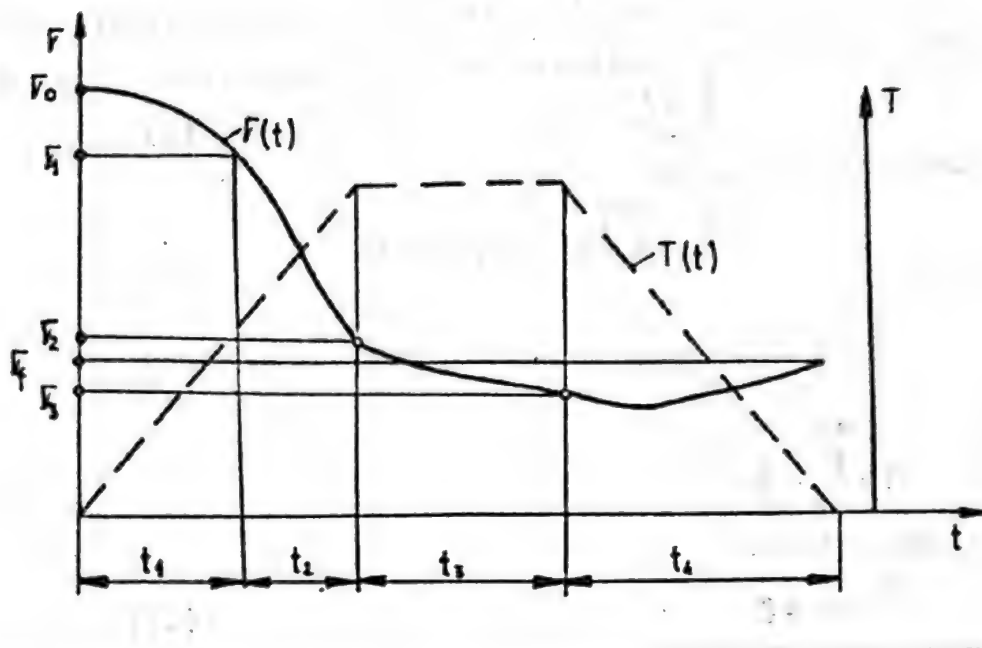


Fig. 272 Graficul de variație a tensiunii modelului pretensionat pe parcursul ciclului de încălzire  $T(t)$

În perioada  $t_1$  tensiunea va scădea până la atingerea valorii  $\bar{V}_1 = \bar{V}_c$  conform relației:

$$\bar{V} = \bar{V}_0 e^{-\int_0^t M dt} \quad (14)$$

În perioada  $t_2$  tensiunea va scădea în condiții când  $\bar{V} > \bar{V}_c$  astfel că va fi valabilă relația:

$$\bar{V} = \bar{V}_0 e^{-\int_0^t P dt} \left[ 1 - \int_0^t Q \cdot e^{\int_0^t P dt} dt \right] \quad (15)$$

Considerând originea la începutul perioadei  $t_2$  determinarea constantei se face punând condiția: pentru  $t=0 \rightarrow \bar{V} = \bar{V}_1$

Pentru perioada de menținere este valabilă relația:  $\bar{V} = \bar{V}_2 e^{-Mt}$

În acest caz  $M$  este constant întrucât parametrii de material sînt constanți la temperatură constantă.

În perioada de scădere a temperaturii este valabilă aceeași relație ca în prima perioadă de creștere a temperaturii însă trebuie ținut seama că  $E$  și  $\lambda_2$  are sens invers de variație, întrucât se schimbă

funcția  $T(t)$ .

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_3 e^{\int_0^t M dt} \quad (17)$$

După rezolvarea integralei punind condiția pentru  $t = t_3$  se determină tensiunea finală  $\bar{\sigma}_f$ . Trebuie avut în vedere că s-a luat ca origine începutul intervalului  $t_3$ .

Această mutare a originii s-a efectuat pentru simplificarea relațiilor de calcul. În ce privește folosirea în practică a acestei metode de calcul al procesului de detensionare se impune determinarea experimentală a parametrilor  $\lambda_2$  și  $\lambda_3$ .

Parametrul  $\lambda_2$  este ușor de determinat prin încercări de fluaj la diverse temperaturi în intervalul de tratament termic.

Parametrul  $\lambda_3$  este mai dificil de determinat întrucât sînt necesare efectuarea de încercări de tracțiune cu viteză mare la diferite temperaturi.

Acești parametri  $\lambda_2$  și  $\lambda_3$  nu sînt specifici încercărilor tehnice și calculului în domeniul tehnic.

#### 8.2.10.6. Determinarea gradului de detensionare prin folosirea unui model fizico-matematic care ține seama de diagramele tehnice ale metalului și de relații analitice de calcul în proiectare

Stabilirea unui model fizico-matematic care să satisfacă întreg ciclul de detensionare este foarte greu întrucât în perioada de încălzire au loc două etape succesive de scădere a tensiunilor care se supune unor fenomene diferite, astfel:

- în prima parte a încălzirii tensiunile scad datorită modificării valorii modulului de elasticitate a materialului precum și curgerii lente prin fluaj.

- în partea a doua a ciclului de încălzire peste aceste fenomene se suprapune și procesul de deformare plastică.



Din această cauză relațiile de calcul ale tensiunii interne în diferitele intervale ale ciclului de detensionare vor fi diferite. Pentru zonele din ciclul de tratament termic de detensionare în care limita de curgere a materialului nu scade la încălzire pînă în apropierea tensiunii interne se poate adopta următorul model fizico-matematic.

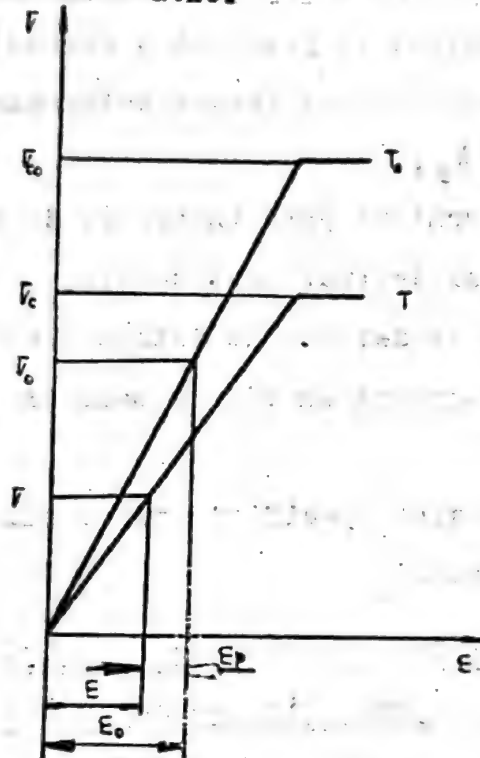


Fig. 273

Diagrama  $V(\epsilon)$  simplificată (cu plasticitate perfectă)

la două temperaturi diferite ( $T_0$  și  $T$ )

$V_{C0}$  = limita de curgere

$V_C$  = limita de curgere la

temperatura  $T$

$V_0$  = tensiunea inițială

$\epsilon_0$  = deformația corespunzătoare tensiunii inițiale.

$\epsilon$  = deformația corespunzătoare tensiunii interne la temperatura  $T$

$\epsilon_p$  = Deformația corespunzătoare scăderii tensiunii datorită încălzirii de la temperatura  $T_0$  la temperatura  $T$

Din această diagramă rezultă relația:

$$\epsilon_0 = \epsilon + \epsilon_p$$

Pentru deformația de fluaj  $\epsilon_p$  există numeroase relații analitice propuse, care în anumite intervale de timp și de temperatură se apropie mai mult sau mai puțin de fenomenul real.

Ex.

$$\lg \epsilon_p = \beta \lg t + \lg b$$

unde  $\beta$  și  $b$  sînt funcții de tem-

peratură și efort(Bailey)

Ex.

$\varepsilon = K \bar{V}^n$  unde K și n sînt funcții de temperatură și timp(Andrade)

Ex.

$\dot{\varepsilon}_p = K \bar{V}$  unde K este o funcție de temperatură (Maxwell)

Din studiile efectuate la catedra de Tehnologie a Institutului Politehnic din Iași a rezultat că pentru studiul detensionării este necesară adoptarea unei relații cu caracter mai general care să satisfacă pentru un interval cît mai mare de timp și temperatură, în acest sens propunîndu-se relația.

$$\varepsilon_p = K \cdot \bar{V}^n \cdot T^m \cdot t^p \quad (19)$$

unde K, n, m, și p sînt constante de material independente de timp (t) temperatură(T), efort( $\bar{V}$ ).

Cu toate că relația exponențială pare complicată, față de a altor autori, ea prezintă avantajul că este ușor de folosit în tehnică. În conformitate cu legea lui Houke se poate scrie:

$$\varepsilon_0 = \frac{\bar{V}_0}{E_0} ; \quad \varepsilon = \frac{\bar{V}}{E} \quad (20)$$

unde  $E_0$  =modulul de elasticitate la temperatura  $T_0$  (inițial)

E =modulul de elasticitate la temperatura T(pe parcursul procesului de încălzire și răcire)

$$\frac{\bar{V}_0}{E_0} = \frac{\bar{V}}{E} + K \cdot \bar{V}^n \cdot T^m \cdot t^p \quad (21)$$

$$\bar{V} = \frac{E}{E_0} \bar{V}_0 - E \cdot K \cdot \bar{V}^n \cdot T^m \cdot t^p \quad (22)$$

Pentru zona ciclului termic în care tensiunea internă, tînde să depășească limita de curgere a materialului la temperatura considerată, tensiunea internă în procesul detensionării nu mai depinde de



tensiunea inițială ( $V_0$ )

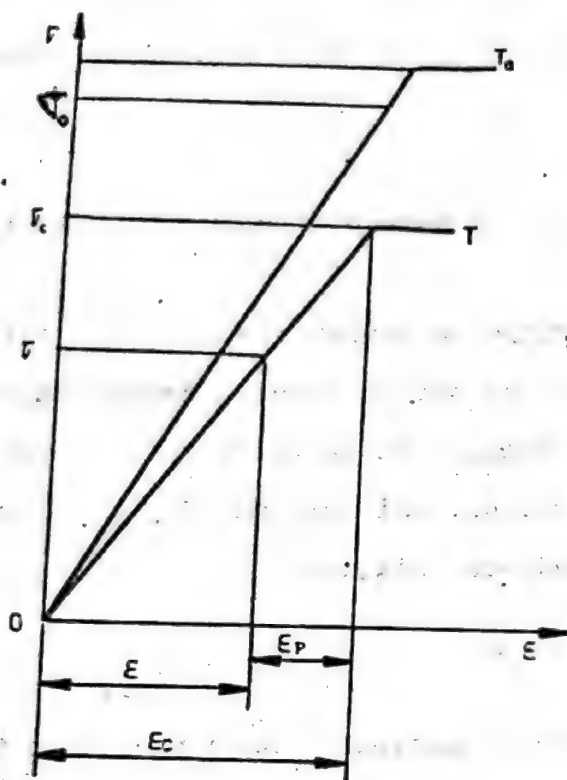


Fig. 274

Diagrama  $V(E)$  simplificată la două temperaturi diferite când limita de curgere la cald scade sub valoarea tensiunii inițiale.

Din această diagramă rezultă că tensiunea pe parcursul ciclului de detensionare considerat nu depinde de tensiune inițială putîndu-se scrie relația:

$$E_c = E + E_p \quad (23)$$

Considerînd metalul cu plasticitate perfectă, datorită deformațiilor foarte mici care au loc în procesul detensionării se poate scrie:

$$E_c = \frac{V_c}{E} \quad (24)$$

Polosind relația 22 și 19 rezultă:

$$V = V_c - E \cdot K \cdot V^n \cdot T^m \cdot t^p \quad (25)$$

Domeniul de valabilitate al relației 25 se determină intersectând funcția  $\bar{V}_c(t)$  cu funcția  $\bar{V}$ , în perioada de creștere a temperaturii  $T(t)$ . Cu aceste funcții determinate (22 și 25) se poate trasa graficul general al detensionării, pentru toate domeniile ciclului de detensionare termică.

Pentru perioada  $t_1$  tensiunea internă va scădea în conformitate cu relația 22 până la atingerea valorii  $\bar{V}_1$  care este egală cu limita de curgere la temperatura respectivă.

Pentru perioada  $t_2$  tensiunea internă va scădea în conformitate cu relația 25 până la atingerea temperaturii maxime a ciclului de încălzire, când va atinge valoarea  $\bar{V}_2$ .

În perioada de menținere  $t_3$  tensiunea va scădea considerând relația 22 în care toți parametri sînt constanți cu excepția timpului, la sfîrșitul perioadei de menținere se va obține tensiunea internă  $\bar{V}_3$ .

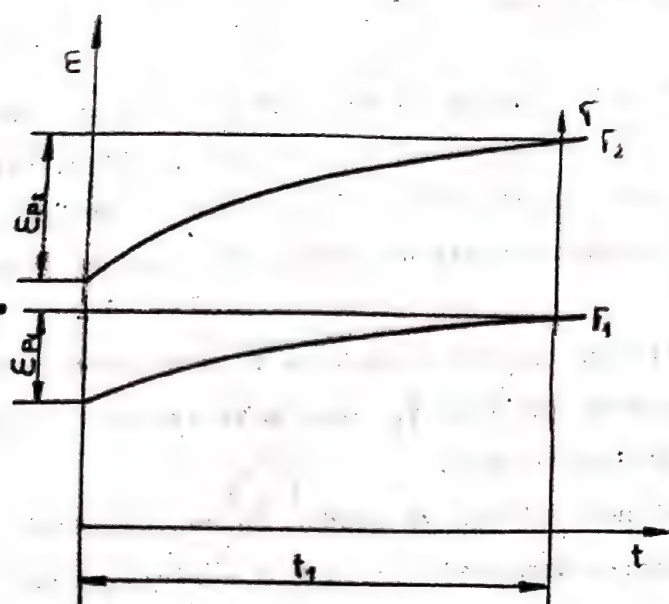
Pentru perioada de răcire ( $t_3$ ) modulul de elasticitate inițial se consideră modulul corespunzător temperaturii de menținere, iar modulul de elasticitate în proces este crescător, folosindu-se pentru calculul tensiunii finale  $\bar{V}_f$  relația 22 în care  $T=0$  adică:

$$\bar{V}_f = \frac{E_0}{E} \bar{V}_3 \quad (26)$$

Acest mod de calcul simplifică mult determinarea tensiunii finale remanente în urma aplicării unui ciclu de detensionare termică întrucît sînt necesare determinarea numai a trei valori ( $\bar{V}_1, \bar{V}_2$  și  $\bar{V}_3$ ) pentru calculul tensiunii finale ( $\bar{V}_f$ ).

Pentru determinarea coeficienților  $K, n, m$ , și  $p$  se pot folosi un fascicul de curbe de fluaj sau relaxare a materialului.

Determinarea coeficientului ( $n$ ) presupune cunoașterea a două curbe de fluaj izoterme la două sarcini diferite, la aceeași temperatură și același interval de timp.



$$\begin{aligned}\epsilon_{p1} &= K \sigma_1^n T_1^m t_1^p \\ \epsilon_{p2} &= K \sigma_2^n T_1^m t_1^p\end{aligned}$$

Fig. 275

Curbele de fluaj  
pentru determinarea  
parametrului „n” la  
temperatura  $T_1$  și  
timpul  $t_1$  pentru  
două sarcini  $\sigma_1$   
și  $\sigma_2$

(27)

Împărțind cele două relații și logaritmizând obținem

$$n = \frac{\lg \frac{\epsilon_{p2}}{\epsilon_{p1}}}{\lg \frac{\sigma_2}{\sigma_1}} \quad (28)$$

La determinarea parametrului „n” se folosesc două curbe  
de fluaj la două temperaturi diferite. Acesta este ilustrat

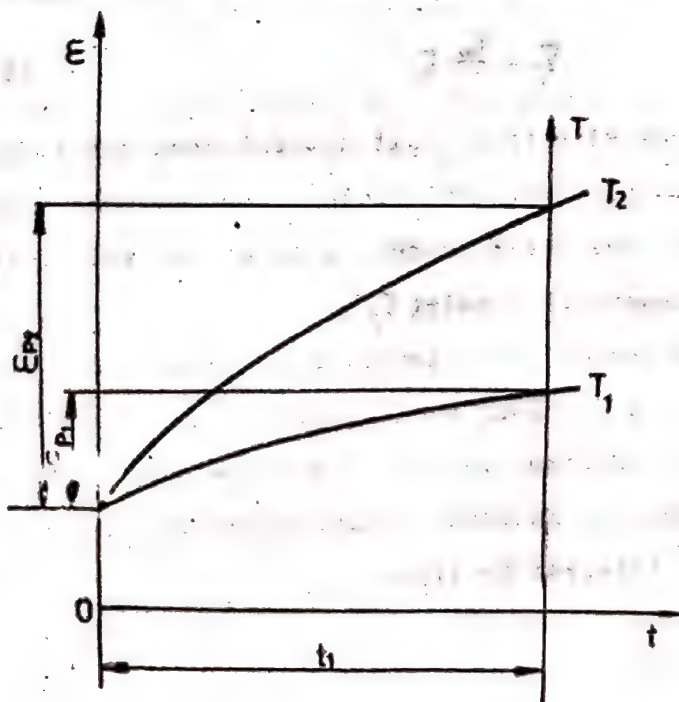
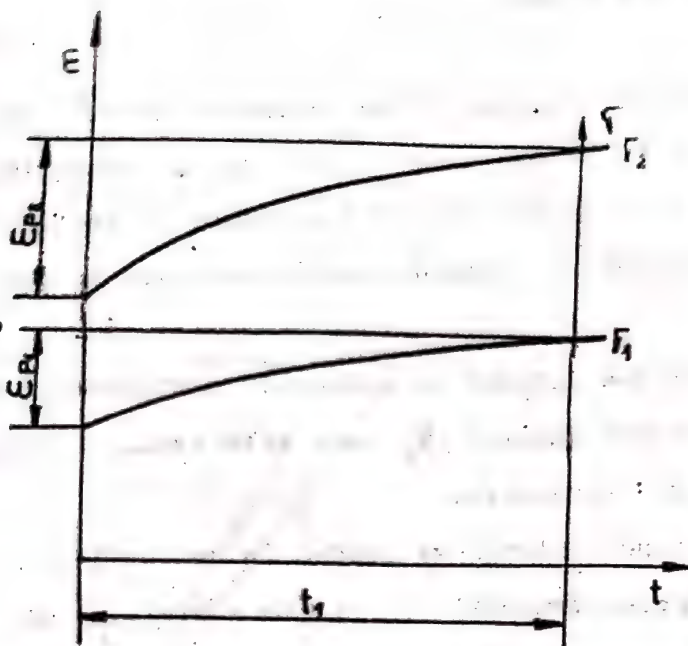


Fig. 276

Curbele de fluaj  
pentru determinarea  
parametrului  
„n” la două tempe-  
raturi diferite  $T_1$   
și  $T_2$  și la aceea-  
și tensiune și timp.

tie  
ut





$$\begin{aligned}\epsilon_{p1} &= K F_1^n T_1^m t_1^p \\ \epsilon_{p2} &= K F_2^n T_1^m t_1^p\end{aligned}$$

(27)

Împărțind cele două relații și logaritmand obținem

$$n = \frac{\lg \frac{\epsilon_{p2}}{\epsilon_{p1}}}{\lg \frac{F_2}{F_1}}$$

(28)

La determinarea parametrului „n” se folosesc două curbe de fluaj la două temperaturi diferite

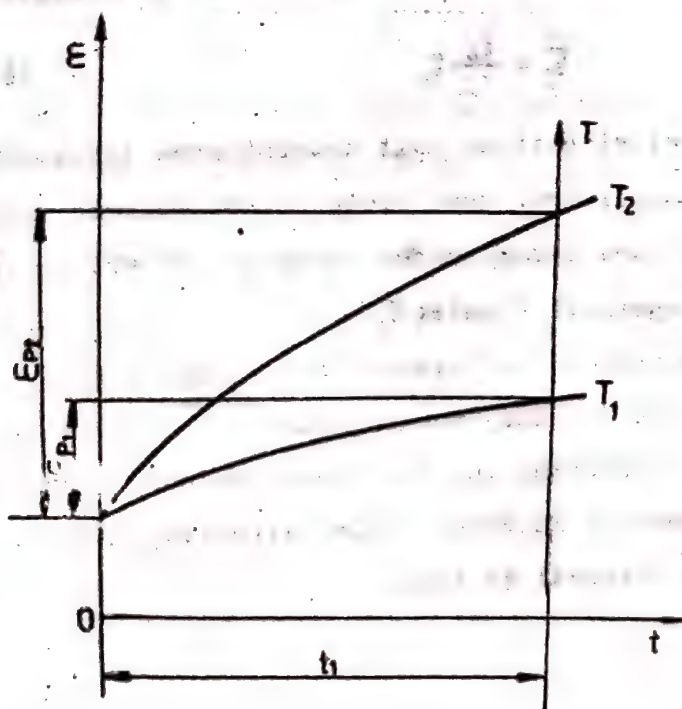


Fig. 276

Curbele de fluaj pentru determinarea parametrului „n” la două temperaturi diferite  $T_1$  și  $T_2$  și la aceeași tensiune și timp.

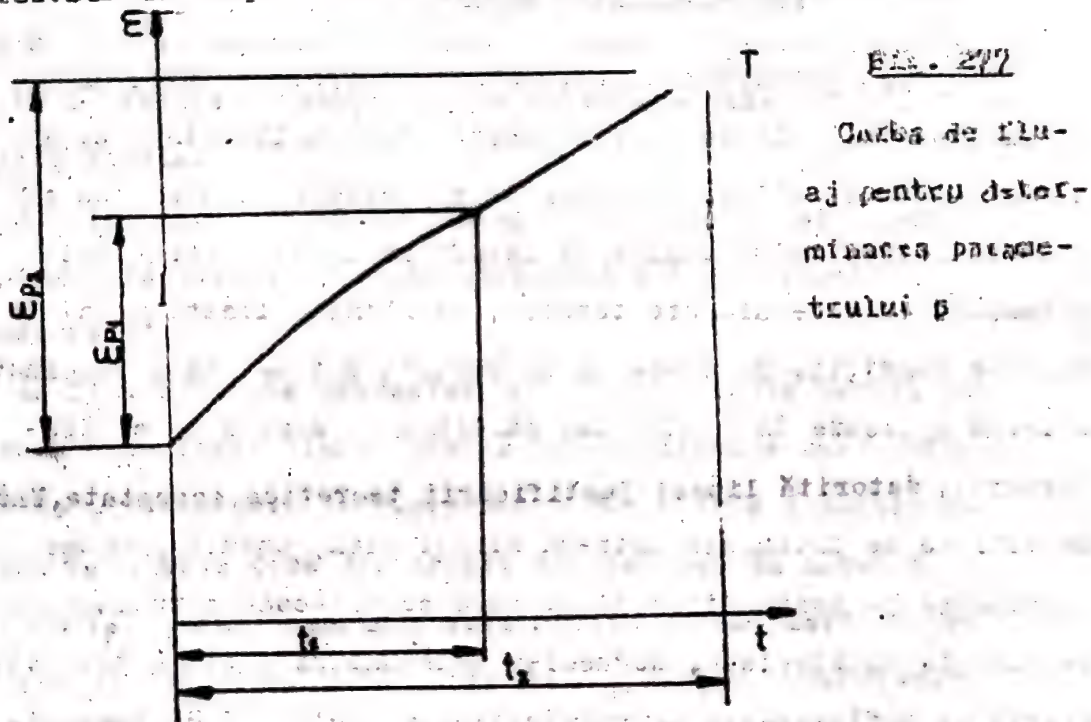
tie  
ut

$$\begin{aligned}\epsilon_{p1} &= K \cdot V^n \cdot T_1^m \cdot t^p \\ \epsilon_{p2} &= K \cdot V^n \cdot T_2^m \cdot t^p\end{aligned}\quad (29)$$

Împărțind și logaritmand relațiile se obține

$$m = \frac{\lg \frac{\epsilon_{p2}}{\epsilon_{p1}}}{\lg \frac{T_2}{T_1}} \quad (30)$$

Pentru determinarea parametrului  $p$  se folosește o singură curbă de fluaj, luându-se în considerație două puncte la două intervale de timp



$$\begin{aligned}\epsilon_{p1} &= K \cdot V^n \cdot T^m \cdot t_1^p \\ \epsilon_{p2} &= K \cdot V^n \cdot T^m \cdot t_2^p\end{aligned}\quad (31)$$

Împărțind și logaritmand obținem:

$$p = \frac{\lg \frac{\epsilon_{p2}}{\epsilon_{p1}}}{\lg \frac{t_2}{t_1}} \quad (32)$$

$$\begin{aligned}\epsilon_{p1} &= K \cdot V^n \cdot T_1^m \cdot t^p \\ \epsilon_{p2} &= K \cdot V^n \cdot T_2^m \cdot t^p\end{aligned}\quad (29)$$

Împărțind și logaritmând relațiile se obține

$$m = \frac{\lg \frac{\epsilon_{p2}}{\epsilon_{p1}}}{\lg \frac{T_2}{T_1}} \quad (30)$$

Pentru determinarea parametrului  $p$  se folosește o singură curbă de fluaj, luându-se în considerație două puncte la două intervale de timp

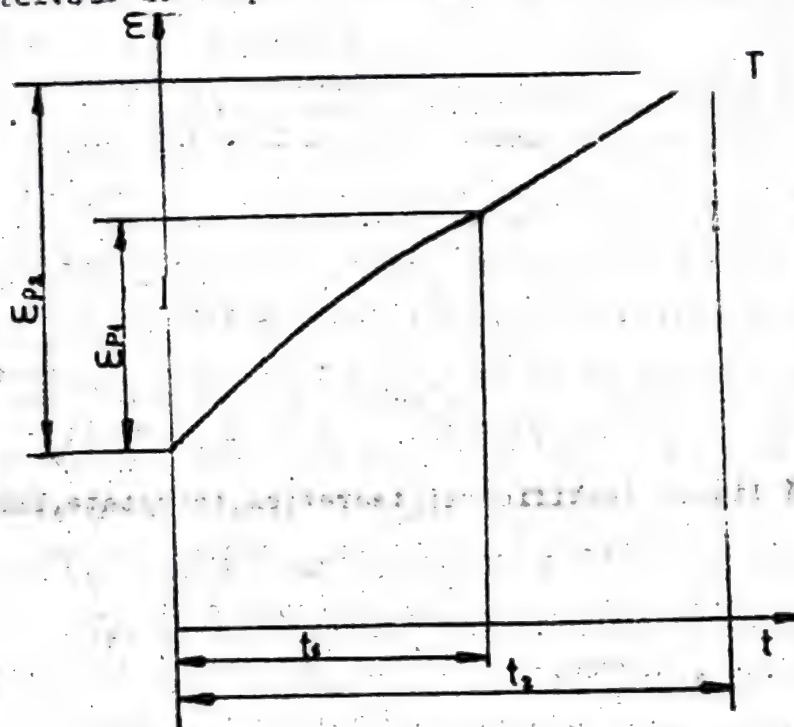


Fig. 277

Curbă de fluaj pentru determinarea parametrului  $p$

$$\begin{aligned}\epsilon_{p1} &= K \cdot V^n \cdot T^m \cdot t_1^p \\ \epsilon_{p2} &= K \cdot V^n \cdot T^m \cdot t_2^p\end{aligned}\quad (31)$$

Împărțind și logaritmând obținem:

$$p = \frac{\lg \frac{\epsilon_{p2}}{\epsilon_{p1}}}{\lg \frac{t_2}{t_1}} \quad (32)$$



Parametrul  $k$  se determină înlocuind în relația 19 valorile  $n$ ,  $m$  și  $p$  determinate pentru un punct oricare din diagramele folosite.

Pentru determinări foarte pretențioase a tensiunii remanente se recomandă determinarea parametrilor  $n$ ,  $m$ ,  $p$  și  $k$  pe intervale de temperaturi, bineînțeles odată cu aceasta complicându-se și calculul tensiunii finale.

#### 8.2.10.7. Detensionarea prin vibrație a construcțiilor sudate

Vibrația metalelor cu parametrii controlați (frecvență și amplitudină), în vederea reducerii tensiunilor interne și a realizării stabilității dimensionale este o metodă nouă cu costuri foarte reduse. Această metodă nu înlocuiește total procedeul de detensionare termică, ea fiind aplicată numai în anumite condiții. Cu toate că în ultimii ani metoda a cunoscut o largă aplicare în producție, părerile sînt încă contradictorii, datorită lipsei justificării teoretice acceptate. Unda de vibrație se introduce într-un singur plan, totuși produce componente pe toate direcțiile, ceea ce provoacă o transmisie de energie multiaxială. Reducerea tensiunilor interne prin vibrații nu influențează proprietățile metalului, dacă intensitatea și durata de vibrație nu depășește o anumită limită.

Tensiunile interne fiind însoțite de deformări elastice locale, prin vibrație deformările elastice sînt transformate parțial în deformări plastice și ca urmare tensiunile interne scad.

Pentru a analiza fenomenele care au loc în procesul de

Parametrul  $k$  se determină înlocuind în relația 19 valorile  $n$ ,  $m$  și  $p$  determinate pentru un punct oarecare din diagramele folosite.

Pentru determinări foarte pretențioase a tensiunii remanente se recomandă determinarea parametrilor  $n$ ,  $m$ ,  $p$  și  $k$  pe intervale de temperaturi, bineînțeles odată cu aceasta compunându-se și calculul tensiunii finale.

#### 8.2.10.7. Detensionarea prin vibrare a construcțiilor sudate

Vibrarea metalelor cu parametrii controlați (frecvență și amplitudine), în vederea reducerii tensiunilor interne și a realizării stabilității dimensionale este o metodă nouă cu costuri foarte reduse. Această metodă nu înlocuiește total procedeul de detensionare termică, ea fiind aplicată numai în anumite condiții. Cu toate că în ultimii ani metoda a cunoscut o largă aplicare în producție, păreriile sînt încă contradictorii, datorită lipsei justificării teoretice acceptate. Unde de vibrare se introduce într-un singur plan, totuși produce componente pe toate direcțiile, ceea ce provoacă o transmisie de energie multiaxială. Reducerea tensiunilor interne prin vibrații nu influențează proprietățile metalului, dacă intensitatea și durata de vibrare nu depășește o anumită limită.

Tensiunile interne fiind însoțite de deformații elastice locale, prin vibrare deformațiile elastice sînt transformate parțial în deformații plastice și ca urmare tensiunile interne scad.

Pentru a analiza fenomenele care au loc în procesul de

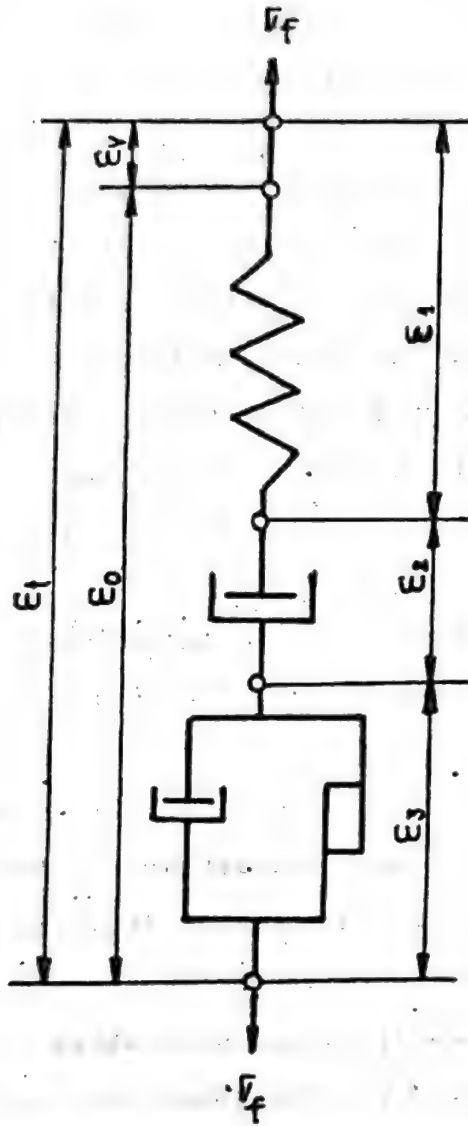
vibrare este necesară folosirea unor modele fizico-matematice. Cu ajutorul acestor modele se pot face studii de analiză și optimizare a tehnologiei de detensionare prin vibrare.

Recurgerea la introducerea în metal a altor forme de energie în afară de cea termică, conduce la apariția unor fenomene specifice tehnologiei de detensionare prin vibrare. Analiza efectului vibrării asupra tensiunilor interne se poate face experimental sau folosind un model fizico-matematic, pretensionat și supus vibrării. Supunerea la vibrare a unui model reologic pretensionat oferă indicații sigure cu privire la influența parametrilor de vibrare asupra mărimii tensiunilor finale.

Modelul reologic supus vibrării trebuie să satisfacă atât proprietățile de bază ale metalului cât și principiul detensionării.

În fig. 278 este prezentat un model reologic pentru metal care este pretensionat static prin aplicarea unei deformări  $\epsilon_0$ , peste care se suprapune o deformare dinamică de vibrare  $\epsilon_v$ . Cele două deformări vor produce în metal o tensiune  $\sigma_f$ , care cuprinde atât efectul deformăției statice cât și dinamice. Deformația  $\epsilon_0$  corespunde tensiunii inițiale  $\sigma_0$ , ea este constantă întrucât piesa nu-și schimbă configurația înainte și după vibrare. Deformația dinamică  $\epsilon_v$  va fi dependentă de pulsația și amplitudinea vibrației.





$$E_v = A \sin \omega t$$

$$E_1 = \frac{V_f}{E}$$

$$\dot{E}_2 = \frac{1}{\lambda_2} V_f$$

$$\dot{E}_3 = \frac{1}{\lambda_3} (V_f - V_c)$$

Fig. 278

Model reologic pretensionat supus vibrației.

- $\epsilon_0$  - deformația elastică statică inițială a modelului;  
 $\epsilon_v$  - deformația introdusă prin vibrație;  
 $\epsilon_t$  - deformația totală a modelului în procesul vibrației;  
 $\epsilon_1$  - deformația elastică;  
 $\epsilon_2$  - deformația de curgere prin fluaj;  
 $\epsilon_3$  - deformația plastică dinamică;  
 $\bar{V}_f$  - tensiunea în procesul vibrației;  
 $\bar{V}_0$  - tensiunea inițială statică;  
 $\bar{V}_c$  - tensiunea de alunecare (de curgere);  
 $E$  - modul de elasticitate;  
 $\lambda_2$  - coeficient de vâscozitate a componentei de deformare prin fluaj;  
 $\lambda_3$  - coeficientul de vâscozitate a componentei de deformare plastică;  
 $\bar{V}$  - tensiunea statică în procesul de vibrație;  
 $\bar{V}_v$  - tensiunea introdusă prin vibrație.

Din analiza modelului din fig. 278 rezultă :

$$\epsilon_t = \epsilon_0 + \epsilon_v = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 \quad /1/$$

$$\bar{V}_v = \epsilon_v \cdot E = E \cdot A \cdot \sin \omega t \quad /2/$$

$$\bar{V}_f = \bar{V} + \bar{V}_v = \bar{V} + EA \sin \omega t \quad /3/$$

$$\epsilon_1 = \frac{\bar{V}_f}{E} = \frac{\bar{V}}{E} + A \sin \omega t \quad /4/$$

Derivând relația 1 în raport cu timpul rezultă:

$$\dot{\epsilon}_t = \dot{\epsilon}_v = \dot{\epsilon}_1 + \dot{\epsilon}_2 + \dot{\epsilon}_3 \quad /5/$$

Derivând relația 4 în raport cu timpul rezultă:

$$\dot{\bar{E}}_1 = \frac{\dot{\bar{V}}}{E} + A \cdot \omega \cos \omega t \quad /6/$$

Înlocuind valorile în relația 5 rezultă:

$$A \cdot \omega \cos \omega t = \frac{\dot{\bar{V}}}{E} + A \omega \cos \omega t + \frac{1}{\lambda_2} (\bar{V} + E A \sin \omega t) + \frac{1}{\lambda_3} (\bar{V} + E A \sin \omega t - \bar{V}_c) \quad /7/$$

Simplificând și ordonând termenii rezultă:

$$\bar{V} + E \left( \frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3} \right) \bar{V} - \frac{E}{\lambda_3} \bar{V}_c + E^2 \left( \frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3} \right) A \sin \omega t = 0 \quad /8/$$

dacă se notează:

$$E \left( \frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3} \right) = K \quad /9/$$

rezultă:

$$\bar{V} + K \bar{V} - \frac{E}{\lambda_3} \bar{V}_c + K E A \sin \omega t = 0 \quad /10/$$

Ecuatia diferențială 10 reprezintă legea de variație a tensiunii interne pe parcursul procesului de vibrație. Se observă că ecuația este de tipul:  $y' + P(x)y + Q(x) = 0$

care admite soluția:

$$y = e^{-\int P(x) dx} \left[ C - \int Q(x) e^{\int P(x) dx} dx \right]$$

ceea ce pentru ecuația 10 corespunde:

$$\bar{V} = e^{-kt} \left[ C - \int_0^t \left( K E A \sin \omega t - \frac{E}{\lambda_3} \bar{V}_c \right) e^{kt} dt \right] \quad /11/$$

Integrând rezultă:

$$\bar{V} = e^{-kt} \left[ C + \frac{E}{K \lambda_3} \bar{V}_c e^{kt} - \frac{E}{K \lambda_3} \frac{K E A}{K^2 + \omega^2} (k e^{kt} \sin \omega t - \omega e^{kt} \cos \omega t + \omega) \right] \quad /12/$$



Derivând relația 4 în raport cu timpul rezultă:

$$\dot{\bar{E}}_1 = \frac{\dot{\bar{V}}}{E} + A \cdot \omega \cdot \cos \omega t \quad /6/$$

Înlocuind valorile în relația 5 rezultă:

$$A \cdot \omega \cdot \cos \omega t = \frac{\dot{\bar{V}}}{E} + A \omega \cos \omega t + \frac{1}{\lambda_2} (\dot{\bar{V}} + E A \sin \omega t) + \frac{1}{\lambda_3} (\dot{\bar{V}} + E A \sin \omega t - \dot{\bar{V}}_c) \quad /7/$$

Simplificând și ordonând termenii rezultă:

$$\dot{\bar{V}} + E \left( \frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3} \right) \dot{\bar{V}} - \frac{E}{\lambda_3} \dot{\bar{V}}_c + E^2 \left( \frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3} \right) A \sin \omega t = 0 \quad /8/$$

dacă se notează:

$$E \left( \frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3} \right) = K \quad /9/$$

rezultă:

$$\dot{\bar{V}} + K \dot{\bar{V}} - \frac{E}{\lambda_3} \dot{\bar{V}}_c + K E A \sin \omega t = 0 \quad /10/$$

Ecuatia diferențială 10 reprezintă legea de variație a tensiunii interne pe parcursul procesului de vibrație. Se observă că ecuația este de tipul:  $y' + P(x)y + Q(x) = 0$

care admite soluția:

$$y = e^{-\int P(x) dx} \left[ C - \int Q(x) e^{\int P(x) dx} dx \right]$$

ceea ce pentru ecuația 10 corespunde:

$$\bar{V} = e^{-kt} \left[ C - \int_0^t (K E A \sin \omega t - \frac{E}{\lambda_3} \dot{\bar{V}}_c) e^{kt} dt \right] \quad /11/$$

Integrând rezultă:

$$\bar{V} = e^{-kt} \left[ C + \frac{E}{K \lambda_3} \dot{\bar{V}}_c e^{-kt} - \frac{E}{K \lambda_3} \dot{\bar{V}}_c \frac{K E A}{K + \omega^2} (k e^{\sin \omega t} - \omega e^{\cos \omega t} + \omega) \right] \quad /12/$$

Pentru determinarea constantăi de integrare „C” se pune condiția ca înainte de începerea vibrației, tensiunea internă să fie egală cu tensiunea inițială

$$t=0 \quad \text{corespunde} \quad V = V_0$$

ceea ce corespunde  $C = V_0$  /13/

Pentru un număr întreg de perioade de vibrații vom avea:

$$\sin \omega t = 0 \quad \text{și} \quad \cos \omega t = 1$$

$$V = e^{-kt} \left[ V_0 - \frac{E V_c}{K \lambda_3} - \frac{K \omega E A}{K^2 + \omega^2} \right] + \frac{E V_c}{K \lambda_3} + \frac{K \omega E A}{K^2 + \omega^2}$$

/14/

Relația 14 este valabilă (conform ipotezei) numai pentru durata de vibrație în care are loc depășirea limitei de curgere în procesul vibrației, limita de valabilitate va fi exprimată de relația

$$V + V_{v(max)} = V_c$$

/15/

$V_{v(max)}$  = tensiunea maximă de vibrație care corespunde pentru  $\sin \omega t = 1$  și  $\cos \omega t = 0$

$$V_{v(max)} = AE$$

/16/

Înlocuind în relația 14 se va determina timpul maxim de vibrație pentru care este valabilă relația 14.

$$V = V_c - AE \quad \text{pentru} \quad t = t_v$$

/17/

$$t_v = \frac{1}{K} \ln \frac{AE - V_c + \frac{E V_c}{K \lambda_3} + \frac{K \omega E A}{K^2 + \omega^2}}{\frac{E V_c}{K \lambda_3} + \frac{K \omega E A}{K^2 + \omega^2} - V_0}$$

Pentru determinarea celorlalți parametri ai regimului de vibrație ( $\omega$  și  $A$ ) se ține seama de condițiile de vibrație.

Pentru determinarea constantăi de integrare „C” se pune condiția ca înainte de începerea vibrației, tensiunea internă să fie egală cu tensiunea inițială

$$t=0 \quad \text{corespunde} \quad \bar{V} = \bar{V}_0$$

ceea ce corespunde  $C = \bar{V}_0$  /13/

Pentru un număr întreg de perioade de vibrații vom avea:  $\sin \omega t = 0$  și  $\cos \omega t = 1$

$$\bar{V} = e^{-kt} \left[ \bar{V}_0 - \frac{E\bar{V}_c}{K\lambda_3} - \frac{K\omega EA}{K^2 + \omega^2} \right] + \frac{E\bar{V}_c}{K\lambda_3} + \frac{K\omega EA}{K^2 + \omega^2}$$

/14/

Relația 14 este valabilă (conform ipotezei) numai pentru durata de vibrație în care are loc depășirea limitei de curgere în procesul vibrației, limita de valabilitate va fi exprimată de relația

$$\bar{V} + \bar{V}_{v(max)} = \bar{V}_c$$

/15/

$\bar{V}_{v(max)}$  = tensiunea maximă de vibrație care corespunde pentru  $\sin \omega t = 1$  și  $\cos \omega t = 0$

$$\bar{V}_{v(max)} = AE$$

/16/

Înlocuind în relația 14 se va determina timpul maxim de vibrație pentru care este valabilă relația 15.

$$\bar{V} = \bar{V}_c - AE \quad \text{pentru} \quad t = t_v$$

/17/

$$t_v = \frac{1}{K} \ln \frac{AE - \bar{V}_c + \frac{E\bar{V}_c}{K\lambda_3} + \frac{K\omega EA}{K^2 + \omega^2}}{\frac{E\bar{V}_c}{K\lambda_3} + \frac{K\omega EA}{K^2 + \omega^2} - \bar{V}_0}$$

Pentru determinarea celorlalți parametrii și regimului de vibrație ( $\omega$  și  $A$ ) se țin seama de condițiile de vibrație.



Pulsația „ $\omega$ ” se determină din condițiile de rezonanță a obiectului supus vibrării, pentru a avea un transfer maxim de energie.

Amplitudinea relativă „ $A$ ” trebuie determinată astfel încât la sfârșitul duratei de vibrație metalul să nu fie supus unei sollicitări alternative, adică:

$$\sigma_{v(max)} \leq \sigma$$

Putând condiția la limită rezultă:

$$\sigma = \sigma_{v(max)} = AE$$

Înlocuind în relația 17 rezultă:

$$A = \frac{\sigma}{2E} \quad /19/$$

La sfârșitul timpului de vibrație va rezulta tensiunea finală  $\sigma_f$ .

$$\sigma = AE = \frac{\sigma_f E}{2E} = \frac{\sigma_f}{2} = \sigma_f$$

Amplitudinea relativă „ $A$ ” determinată cu relația 19 se consideră constantă pe toată durata vibrării ( $t_v$ ): Vibrarea cu parametrii  $\omega$  și  $A$  determinați, după deșirarea timpului  $t_v$  conduce la sollicitarea materialului la un ciclu alternativ nesimetric, care pe măsura scăderii tensiunii interne se apropie de un ciclu simetric.

Solicitarea materialului prin vibrație la o durată mai mare decât timpul determinat ( $t_v$ ) conduce la scăderea proprietăților de rezistență a materialului datorită fenomenului de oboseală.

Tensionarea prin vibrație fără deteriorarea structurii materialului prin ecrusare și oboseală se poate realiza pînă la o tensiune maximă corespunzătoare jumătății li-

vitei de curgere a materialului.

În general parametrii  $E$  și  $V_c$  pentru un material dat sînt cunoscuți, pe cînd  $\lambda_2$  și  $\lambda_3$  trebuiesc determinați experimental, sau extrași din diverse diagrame de comportare dinamică a materialului.

Pentru determinarea parametrului  $\lambda_2$  se poate folosi curba de relaxare a materialului, iar pentru determinarea parametrului  $\lambda_3$ , se folosesc curbele de variație a rezistenței la deformare la rece, la diferite viteze de deformare.

### 8.3. TEHNOLOGII DE TRATAMENT TERMIC APPLICATE SEMIFABRICATELOR.

#### 8.3.1. Tratamente termice aplicate semifabricatelor obținute prin turnare.

Semifabricatele obținute prin turnare prezintă o serie de particularități. Astfel, structura materialului metalic este neomogenă din punct de vedere chimic și neuniformă din punct de vedere fizic, structural etc. Deasemenea, semifabricatele turnate prezintă importante tensiuni interne, (de natură termică, structurală sau mecanică), fiind susceptibile la modificări ale formei și dimensiunilor sau la fisurare.

Tratamentele termice aplicate semifabricatelor turnate au ca scop: omogenizarea chimică a structurii, regenerarea structurii, detensionarea, îmbunătățirea prelucrabilității prin aşchiere etc. În aceste condiții tipurile și variantele tehnologice de tratamente termice aplicate se prescriu pe următoarele grupe de produse:

- lingouri turnate din oțeluri;
- semifabricate turnate din oțeluri;
- semifabricate turnate din fonte;
- lingouri și semifabricate turnate din aliaje neferoase.

#### 8.3.1.1. Tratamente termice aplicate lingourilor din oțel.

Lingourile din oțel prezintă importante neuniformități de natură chimică, structurală și fizică.

Neuniformitatea chimică și structurală este dependentă de condițiile în care se desfășoară procesul de solidificare. Neuniformitatea chimică se manifestă sub formă de segregatii dendritice și segregatii zonale.



Segregația dendritică definește neomogenitatea chimică în limitele dendritelor. Specifică etelurilor aliate, segregația dendritică reprezintă fie distribuția neuniformă a elementelor de aliere și impurităților pe secțiunea cristalelor, fie apariția unor constituenți structurali în afară de echilibru. Gradul de segregare dendritică crește cu procentul de carbon al etelului, cu gradul de aliere, cu mărirea lingoului etc.

Înlăturarea segregațiilor dendritice este posibilă prin aplicarea unei recoaceri pentru omogenizare chimică.

Segregația zonală caracterizează neomogenitatea chimică în limitele zonelor lingoului și apare fie sub formă de zone de segregație, (segregație gravimetrică), fie sub forma "figurilor de segregație", (segregații de fosfor, sulf, carbon). Segregațiile zonale nu pot fi eliminate pe calea tratamentelor termice.

Neuniformitatea formei structurale este efectul vitezei de răcire la solidificare: grăunți foarte fini la exterior, grăunți columnari în zona de transcristalizare și grăunți mari, echiaxiali, în zona centrală. Înlăturarea acestui defect este necesară pentru a imprima uniformitate valorilor caracteristicilor mecanice ale semifabricatelor obținute ulterior prin deformare plastică.

Neuniformitatea fizică este determinată de întreruperea continuității materialului metalic în procesul solidificării și se prezintă sub formă de retasuri, porozități etc. Tratamentele termice nu pot înlătura efectele negative ale defectelor specifice neuniformității fizice.

În afară de neomogenitățile prezentate, lingourile din etel se caracterizează și prin importante tensiuni interne, (termice și structurale).

Pentru evitarea fisurării, (la temperatura mediului ambiant sau la încălzirea pentru forjare), se aplică un tratament termic de detensionare.

Pentru micșorarea durității în vederea îmbunătățirii prelucrării prin așchiere, (decojirea suprafețelor și eliminarea unor defecte de suprafață), se aplică tratamente termice specifice îmbunătățirii prelucrabilității prin așchiere.

Din analiza datelor prezentate rezultă că principalele tipuri de tratament termic aplicate lingurilor sînt:

- receacerea pentru omogenizare;
- receacerea pentru detensionare;
- receacerea completă sau subcritică pentru micșorarea durității.

Receacerea pentru omogenizare se aplică în scopul reducerii gradului de segregatie dendritică la oțelurile aliate din grupele Cr-Ni-Mo; Cr-Mn-Mo; Cr-Mn-Si etc.

Parametrii tehnologici orientativi ai receacerii de omogenizare aplicată lingurilor din oțel sînt:

- temperatura de încălzire:  $1050...1250^{\circ}\text{C}$ , (valorile superioare se prescriu la încălzire lingurilor din oțeluri aliate și a celor de dimensiuni mari);

- viteza de încălzire nu se limitează. Lingourile se introduc în cuptorul de tratament termic după stripare cînd temperatura minimă a lingoului este de cca.  $700^{\circ}\text{C}$

- durata menținerii la temperatura de tratament termic este de 10...50 ore;

- răcirea se execută lent, edată cu cuptorul, cu o viteză de  $50...60^{\circ}\text{C/h}$ , pînă sub  $A_{r1}$ .

Pentru a se atenua efectele creșterii grăunților de austenită se recomandă ca după menținerea la temperatura de regim,

(cca. 1250°C), temperatura lingoului să fie coborâtă pînă la cea corespunzătoare începutului prelucrării plastice la cald și, să se execute operația de laminare, forjare etc.

Recoacerea pentru detensionare și tratamente termice pentru îmbunătățirea prelucrabilității prin aşchiere; se aplică la scurt timp după striparea lingourilor și au ca obiective detensionarea structurii și micșorarea durității.

La stabilirea parametrilor tehnologici se vor lua în considerație următoarele date:

- structura inițială a straturilor exterioare, natura constituenților, proporția, forma și distribuția acestora;
- se va aplica, dacă este posibil, o recoacere suboritică cu efecte pozitive asupra stării tensiunilor remanente și asupra durității, (globulizarea și coagularea carburilor);
- în cazurile în care se impune obținerea unei structuri caracterizată prin duritate relativ mică și uniformitate în distribuția constituenților, se recomandă aplicarea unei recoaceri izoterme cu încălzire la o temperatură superioară punctului  $A_{c3}$  și răcire izotermă la o temperatură cu puțină inferioară punctului  $A_{r1}$ .

#### 8.3.1.2. Tratamente termice aplicate semifabricatelor turnate din oțeluri.

Piese turnate din oțel se grupează după clasa oțelului din care sînt executate:

- piese turnate din oțel de uz general, STAS 600-82: OT 400; OT 450; OT 500; OT 550; OT 600; OT 700.
- piese turnate din oțeluri aliate, STAS 1773-80: T20Mn14; T35Mn14; T40Mn11; T30SiMn12; T40MnN107; T34MnCr09; T35MnCrN108.



- piese turnate din oțeluri refractare și anticorozive,  
STAS 6855-78: T20MoCr90; T15Cr130; T20Cr130; T40SiCr130; T40Cr130;  
T75Cr280; T70MoCr280; T12TiMoNiCr175; T15NiCr180; T15MoNiCr180;  
T35NiCr260; T25NiCr250; T20CrNi1370; T35CrNi1370.

Tipul și parametrii tehnologici ai tratamentelor termice aplicate pieselor turnate din oțeluri se stabilesc în baza următoarelor date:

- compoziția chimică a oțelului;
- dimensiunile semifabricatului;
- structura formată în condițiile concrete de turnare-solidificare și structura care trebuie obținută corespunzător prescripțiilor tehnice.

Obiectivele tratamentelor termice aplicate acestei grupe de semifabricate sînt: detensionarea structurii, îmbunătățirea prelucrabilității prin aşchiere, pregătirea structurii în vederea aplicării tratamentului termic final. Realizarea obiectivului propus este posibilă prin aplicarea unei recoaceri subcritice, (detensionare, micșorarea durității), sau a unui tratament termic de normalizare și revenire înaltă, (micșorarea durității, finisarea structurii).

Tratamentul termic final, (recoacere completă, normalizare, călire și revenire, tratamente termochimice), se aplică după operația de tăiere a rețelei de turnare și a bavurilor și uneori după prelucrări prin aşchiere, urmărindu-se asigurarea condițiilor tehnice impuse.

#### 8.3.1.2.a. Tratamentul termic al pieselor turnate din oțel carbon.

Pentru piese turnate din oțel carbon se aplică ca tratamente termice primare: recoacerea pentru detensionare și recoacerea de regenerare.

Recoacerea pentru detensionare se aplică pieselor pentru care caracteristicile mecanice de exploatare pot fi asigurate de

structura de turnare. Tratatul termic are drept scop diminuarea valorii tensiunilor remanente și asigurarea stabilității, dimensionale. Se prescrie o încălzire la 550...650°C cu o viteză de încălzire de cca. 50°C/h. Durata de menținere la temperatura de tratament se adoptă în funcție de mărimea și configurația pieselor, (1 oră/25 mm grosime piesă), valoarea minimă fiind de 2 ore. Răcirea se execută lent cu o viteză de 50...100°C/h până la cca. 300°C.

Receacerea de regenerare, (cu transformări de fază în stare solidă), constă în încălzirea semifabricatelor la temperaturi superioare punctului  $A_{c3}$ , (830...890°C), menținere la temperatura de regim minimum 4 ore și răcire lentă, (edată cu cuptorul), sau în aer, (normalizare). STAS 600-82 prescrie aplicarea unui tratament termic de normalizare urmat de receacere de detensionare.

Piese puternic sollicitate mecanic, executate din OT 500 ...OT 700, se supun unui tratament termic final de îmbunătățire: oclire cu încălzire la 820...840°C și răcire în ulei; revenire cu încălzire la 550...650°C și răcire dirijată până la 300°C.

#### 8.3.1.2.b. Tratatul termic al pieselor turnate din oțel aliat.

Piese turnate din oțel aliat și supuse în exploatare unor sollicitări moderate se detensionează termic: încălzire cu o viteză de cca. 50°C/h până la 600...640°C, menținere 3...6 ore și răcire lentă, 50...100°C/h. În timpul detensionării termice se realizează și gtebulizarea parțială a structurii cu efecte pozitive asupra prelucrabilității prin aşchiere.

În cazul în care se impun caracteristici de exploatare superioare se prescrie ca tratament termic primar o receacere cu transformare de fază în stare solidă, (receacere completă), sau un tratament termic de normalizare. După normalizare se aplică imediat un tratament termic de detensionare.

Tratamentul termic final aplicat pieselor turnate din oțeluri aliate constă dintr-o călire cu răcire în ulei și o revenire înaltă prin care se realizează și detensionarea structurii.

**8.3.1.2.c. Tratamentul termic al pieselor turnate din oțel aliat refractar-anticoroziv.**

Tratamentele termice aplicate acestei grupe de piese turnate se stabilesc în funcție de compoziția chimică a oțelului, (conținut în elemente de aliere și carbon) și caracterul structurii formate prin aplicarea tratamentului termic.

Astfel, piesele turnate din oțelurile T15Cr130 și T20Cr130 sînt supuse unei recoaceri cu încălzire lentă la 800...850°C și menținere de durată: 12...14 ore. Răcirea se execută dirijată, odată cu instalația de încălzire. Tratamentul asigură detensionarea structurii și o bună prelucrare prin așchiere. Tratamentul termic final constă într-o călire cu încălzire la 970...1050°C, în cazul oțelului T15Cr130 și la 970...1020°C, în cazul oțelului T20Cr130. După o menținere de 1...2 ore de la galizarea temperaturii pe secțiunea pieselor se aplică o răcire bruscă, (în apă, pentru T15Cr130, respectiv ulei pentru T20Cr130). După călire se aplică un tratament termic de revenire cu încălzire la 650...720°C și răcire în aer. Se obține o structură stabilizată, fără tensiuni interne, rezistentă la coroziune.

În cazul oțelurilor aliate cu crom și nichel obiectivul tratamentului termic aplicat este obținerea unei structuri alcătuită din austenită prin punerea în soluție a precipitatelor de carburi, nitruri și alte faze a căror prezență la marginea cristalelor de austenită micșorează rezistența la coroziune inter-cristalină. Se aplică călirea pentru punere în soluție cu încălzire la 1030...1070°C, pentru oțelurile: T15NiCr180, T15MoNiCr180, sau 1050...1100°C, pentru oțelurile: T25NiCr250, T35NiCr260,



T20CrNi370, T35CrNi370. După parcurgerea duratei de menținere: 2...4 ore după egalizarea temperaturii, se aplică o răcire cu viteză mare, (apă, soluții apoase etc.)

Piese turnate din oțelurile T20MoCr90 și T25NiCr250 pot fi supuse unui tratament termic preliminar pentru eliminarea tensiunilor interne și pentru obținerea unei structuri cu o bună prelucrabilitate prin așchiere. Parametrii tehnologici recomandați sînt:

- temperatura de încălzire: 800...900°C, pentru T20MoCr90, respectiv 850...900°C, pentru T25NiCr250;
- durata de menținere: 2...6 ore de la egalizarea temperaturii pe secțiunea semifabricatului;
- viteza de încălzire - răcire: 50...100°C/h.

Pentru a realiza o stabilitate structurală și dimensională în limitele impuse și pentru a mări valorile caracteristicilor mecanice de rezistență, piesele turnate din oțel T20MoCr90 pot fi supuse unui tratament termic de călire pentru punere în soluție, (încălzire la 850-900°C cu răcire în apă) și îmbătrînire, (încălzire la 680...700°C cu răcire în aer).

#### 8.3.1.2.d. Tratamentul termic al pieselor turnate din oțel austenitic manganez.

Se utilizează, conform STAS 3718-80, următoarele mărci de oțeluri: T105Mn120; T130Mn135; T130MoMn135; T110Mn110; T120Mn110; T100Mn120; T120CrMn130; T100NiMn130; T100MoMn130; T70Mn140.

Tratamentul termic aplicat are ca obiectiv formarea unei structuri austenitice fără carburi, ceea ce asigură caracteristici mecanice deosebite:  $R_{0,2} = 245...390 \text{ N/mm}^2$ ;  $R_m = 780...980 \text{ N/mm}^2$ ;  $A_5 = 40...55\%$ ;  $KCU = 20...30 \text{ J/cm}^2$ ;  $HB = 180...200$ .

rală) și durează cca. 12 luni, timp în care se reduc tensiunile interne cu cca. 50%.

Detensionarea termică se aplică obligatoriu reperelor la care stabilitatea dimensională este deosebit de importantă: blocuri motor, chiulase, oămăgi de cilindru, tamburi de frînă, batiuri pentru mașini unelte etc.

Reecacerea de înmuiere se aplică în cazul în care în structură apare cimentită liberă, (cca. 5%) sau dacă piesele sînt mici, cu pereți subțiri și la solidificare-răcire se generează o structură foarte fin dispersată.

Micșorarea durității se realizează prin descompunerea cementitei libere și a cementitei perlitei în ferită și grafit. În anumite cazuri se recurge la coagularea și glabelizarea constituenților. Tratatamentul termic constă dintr-o încălzire la 850...950°C cu o menținere de 1...5 ore urmată de o răcire foarte lentă, (cca. 5...10°C/h), la temperaturi inferioare punctului  $A_{r1}$ . Reecacerea suboritică constă într-o încălzire lentă pînă la 680°C...700°C, menținere 1...4 ore și răcire lentă, (în cuptor), pînă la 280°C și apoi în aer.

Normalizarea se aplică în scopul perlitizării matricei la piesele care au o structură inițială cu baza feritică sau ferite-perlitică. Deasemeni se aplică și în cazul pieselor cu structură de perlită grosolană, urmărindu-se mărirea gradului de dispersie.

Se prescriu următorii parametri tehnologici:

- temperatura de încălzire: 850-950°C, funcție de conținutul în siliciu, (850-870°C pentru 2,0...2,2% Si și 900-950°C pentru 2,6...2,8% Si);

- viteza de încălzire: max. 100°C/h;

- durata de menținere: 1...3 ore;
- răcirea se execută în aer liniștit, pentru piese subțiri și în curent de aer comprimat, pentru piese groase.

După aplicarea tratamentului termic de normalizare duritatea crește de la oca.160 HB la oca.270 HB.

Călirea și revenirea; se aplică pieselor de formă simplă executate din fontă cenușie cu grafit lamelar fin și structură predominant perlitică cu scopul îmbunătățirii proprietăților mecanice.

Se prescriu următorii parametri tehnologici:

- temperatura de încălzire la austenitizare: 850-930°C;
- încălzirea la temperatura de tratament se va realiza cu o viteză de 30...50°C/h. Se indică aplicarea unei preîncălziri la 500°...600°C cu o menținere de una oră;
- durata de menținere: 1...3 ore, în funcție de duritatea care se urmărește a fi obținută. Sînt necesare încercări experimentale;
- răcirea se face în ulei, fontele caracterizîndu-se printr-o călibilitate relativ mare. Se practică și răcirea izotermă în băi de săruri topite, (menținere izotermă 1...3 minute la 200...260°C și răcire în aer.
- temperatura de încălzire la revenire: 350...400°C, dacă se urmărește creșterea rezistenței la uzare; 450...600°C, dacă se urmărește îmbunătățirea tenacității;
- durata de menținere la revenire: 0,5...2 ore, dar nu mai mare de 4 ore;
- răcirea finală se execută în aer.

Dacă prin condițiile tehnice se prescrie o duritate ridicată: 50...55 HRC și rezistență la solicitări variabile, se aplică ca tratament termic final călire superficială și revenirea joasă.



Tratamente termochimice; se aplică nitrurarea, sulfizarea, alitarea etc., pentru a conferi pieselor executate din fontă cenușie rezistență la uzare, rezistență la coroziune, rezistență la oxidare, refractaritate etc.

Nitrurarea fontelor cenușii cu grafit lamelar, (nitrurare în gaz, sau nitrurare ionică), presupune încălzire la  $500-580^{\circ}\text{C}$  într-o atmosferă bogată în azot activ. Durata de menținere la temperatura de tratament termochimic este dependentă de grosimea stratului superficial nitrurat, (cca. 24 ore pentru 0,4...0,5 mm strat nitrurat). Se aplică la cămăși de cilindru pentru motoare, arbori cetați, axe cu came etc.

Sulfizarea se aplică cu scopul de a îmbunătăți coeficientul de frecare, (crește rezistența la gripare). Se recurge la tehnologia sulfizării la temperatură joasă, (cca.  $300^{\circ}\text{C}$ ), sau medie, ( $550-600^{\circ}\text{C}$ ).

Alitarea se aplică pieselor din fontă care lucrează în condiții de temperatură ridicată:  $450...600^{\circ}\text{C}$ , gaze de ardere etc. Se aplică alitarea în mediu solid cu încălzire la  $900-1050^{\circ}\text{C}$  și menținere 2...6 ore.

#### 8.3.1.3.b. Tratamente termice aplicate pieselor turnate din fontă cenușie cu grafit nodular.

După turnarea pieselor, în funcție de structură și de proprietățile urmărite se aplică următoarele tratamente termice:

- receacere de detensionare:

- încălzire la  $550-620^{\circ}\text{C}$  cu o viteză de încălzire de  $70-100^{\circ}\text{C/h}$ ;

- durata de menținere după egalizarea temperaturii este de 2...3 ore, (cca. 1 oră/25 mm grosime);

- răcoirea se execută lent, cu o viteză de  $40-50^{\circ}\text{C/h}$ , până la  $280-300^{\circ}\text{C}$  și apoi în aer.

× |

- recoacere de grafitizare:

- Dacă se urmărește numai descompunerea cementitei libere și formarea unei structuri de bază perlitice sau perlito-feritice, se aplică recoacerea de grafitizare cu încălzire la  $900^{\circ}$ ... $950^{\circ}\text{C}$ , menținere 2-5 ore după egalizarea temperaturii și răcire finală lentă, cu cuptorul;

- Dacă se urmărește obținerea unei structuri feritice se aplică recoacerea de grafitizare feritică: încălzire la  $900^{\circ}$ ... $920^{\circ}\text{C}$  cu menținere 2 ore după egalizarea temperaturii; răcire controlată la  $730-740^{\circ}\text{C}$  cu menținere 2-5 ore la această temperatură; răcire lentă, cu cuptorul până la  $680-650^{\circ}\text{C}$  și apoi în aer;

- Dacă piesele nu conțin cementită liberă se recomandă încălzire la  $790-800^{\circ}\text{C}$ , menținere 1 oră/25 mm grosime, răcire lentă până la  $720-680^{\circ}\text{C}$  cu menținere de oca. 16 ore și răcire de la  $600^{\circ}\text{C}$  în aer.

- normalizare; se aplică cu scopul de a îmbunătăți rezistența la rupere și duritatea pieselor turnate din fontă cu grafit nodular:

- temperatura de încălzire:  $850-950^{\circ}\text{C}$ ;
- menținere 2-3 ore, după egalizarea temperaturii;
- răcire în aer.

Observație: după normalizare se aplică recoacerea de detensionare ceea ce determină o creștere importantă a alungirii și a rezilienței. Duritatea și rezistența la rupere își micșorează valorile.

- călire și revenire; se aplică pieselor cu dimensiuni mici și mijlocii, cu forme relativ simple, (role, came etc.), care nu sînt susceptibile la fisurare în timpul răcirii:

- temperatură de austenitizare:  $830-930^{\circ}\text{C}$ ;
- menținere: 1...3 ore, în funcție de grosimea pieselor;
- răcire în ulei cald, ( $60...80^{\circ}\text{C}$ ).

Piese mici și de forme complicate se supun unui tratament termic de călire izotermă: încălzire la 850-880°C, menținere 35...45 min, răcire izotermă în băi de săruri la 300-350°C, cu menținere cea. 60 minute și răcire finală în aer.

Călirea superficială cu încălzire cu flacără sau prin inducție se aplică în cazul pieselor solicitate la uzură și ebo-seală, (roți dințate, cilindri de laminare, arberi cotiți etc.).

- tratamente termochimice; se aplică nitrurarea, carbonitrurarea la temperatură joasă, sulfizarea, sulfocarbonitrurarea, alitarea și cromizarea conferind pieselor cele mai bune proprietăți de exploatare.

#### 8.3.1.3.c. Tratamente termice aplicate pieselor turnate din fonte maleabile.

Piese din fontă maleabilă se obțin prin turnare, din fontă albă supusă ulterior unui tratament termic de maleabilizare. Tratamentele termice care se aplică pieselor turnate din fonte maleabile sînt normalizarea, călire și revenirea.

Normalizarea are drept scop modificarea structurii, (din structură feritică în structură perlite-feritică) și îmbunătățirea caracteristicilor mecanice. Parametrii tehnologici ai tratamentului termic sînt:

- încălzire la 860...880°C;
- menținere la temperatura de regim: 1...2 ore;
- răcire în aer, eventual aer ventilat.

Călire și revenirea se aplică cu scopul de a se obține un grupaj de proprietăți mecanice impuse prin condiții tehnice. Pentru a se obține caracteristicile mecanice dorite, temperatura de austenitizare la călire și durata de menținere trebuie să asigure dizolvarea în austenită a unui conținut suficient de carbon. Pentru piesele din fontă maleabilă perlitică se recomandă încăl-



zire la 800-850°C, menținere 1...2 ore și răcire în ulei.

Parametrii tehnologici ai tratamentului termic de revenire se stabilesc pe cale experimentală, în funcție de proprietățile mecanice cerute, utilizând în acest scop și diagrame ce stabilesc interdependența proprietăți mecanice-temperatură de revenire.

#### 8.3.1.4. Tratamente termice aplicate lingourilor și pieselor turnate din aliaje neferoase.

##### 8.3.1.4.a. Tratamentul termic al lingourilor din aliaje pe bază de cupru.

Datorită condițiilor în care se desfășoară procesul de solidificare, lingourile turnate din aliaje pe bază de cupru prezintă o structură neuniformă dimensional și neomogenă chimic. Sînt afectate negativ caracteristicile tehnologice de deformare plastică: plasticitate redusă ca rezultat al segregațiilor dendritice, microfisuri și crăpături, instabilitate structurală ca rezultat al existenței unor faze secundare metastabile, (generate prin segregare).

Lingourile din aliaje pe bază de cupru se supun unei recoaceri pentru omogenizare:

Aliaj	Temperatura de început de topire, în °C.	Recoacere de omogenizare	
		Temperatura de încălzire, în °C	Durata minimă de menținere, h
Bronzurile cu 8...12% Sn	840 - 860	700 - 750	1,0 - 2,0
Aliaje Cu -Ni	1100 - 1200	800 - 950	1,0 - 2,0
Aliaje Cu-Ni-Zn	850 - 950	750 - 800	0,5 - 2,0
Bronzuri cu 10-12% Al	1030 - 1090	800 - 950	1,0 - 2,0

#### 8.3.1.4.b. Tratamentul termic al lingourilor pe bază de aluminiu.

Lingourile din aliaje pe bază de aluminiu au trăsături comune cu lingourile pe bază de cupru. Si în acest caz se aplică recoaceri pentru omogenizare care au ca obiective înlăturarea sau atenuarea microsegregațiilor intradendritice și dizolvarea fazelor intermetalice fragile:  $Al_2CuMg$ , (faza S);  $Mg_2Si$ ;  $Al_3Mg_2Zn_2$ , (faza T), segregate între ramurile dendritelor.

Aliajul	Temperatura de început de topire, în °C.	Recoacere pentru omogenizare	
		Temperatura de încălzire, în °C	Durata minimă de menținere
Duraluminu	506	470 - 495	8 - 36 ore
Aliaj Al-Zn-Mn-Cu	476	440 - 470	20 - 25 ore
Aliaj Al-Mn	654	600 - 640	28 - 40 ore

#### 8.5.1.4.c. Tratamente termice aplicate pieselor turnate din alame și bronzuri.

În funcție de compoziția chimică a aliajelor, tratamentele termice uzuale sînt :recoacerea de omogenizare și recoacerea de detensionare. Recoacerile cu transformări de fază în stare solidă aplicabile pieselor turnate din aliaje neferoase pe bază de cupru produc modificări neimportante ale caracteristicilor mecanice.

Bronzurile cu beriliu, (max.2% Be), se supun unui tratament termic de călire pentru punere în soluție urmat de îmbătrînire. Călirea pentru punere în soluție necesită încălzire la  $780-800^{\circ}C$ , menținere la temperatura de regim pentru omogenizarea soluției și răcire în apă. Se obține o soluție solidă supra-saturată cu valori reduse pentru caracteristicile de rezistență, (duritate 100 HB și  $R_m = 50 daN/mm^2$ ). Tratamentul termic de îmbătrînire se execută cu încălzire la  $300-350^{\circ}C$ , menținere 3...5 ore și răcire finală în aer. Se produce o precipitare a particulelor de CuBe ceea ce determină creșterea durității la

350-400 HB și a rezistenței de rupere la tracțiune la 130-150 daN/mm<sup>2</sup>.

Bronzurile cu aluminiu, (min. 10% Al; 4% Fe; 1% Mn; 0,5% Si), pot fi supuse călirii și revenirii. Încălzirea la călire se face la temperatura de 800°C cu o menținere de 1...2 ore. Răcirea se execută în apă. Temperatura optimă de încălzire la revenire este 400°C. Pentru obținerea unor caracteristici superioare de tenacitate temperatura de încălzire crește la 650°C.

#### 8.3.1.4.d. Tratamente termice aplicate pieselor turnate din aliaje pe bază de aluminiu.

Tratamentele termice aplicate pieselor turnate din aliaje pe bază de aluminiu se diferențiază de la un tip de aliaj la altul, (depind de natura principalului element de aliere). Pe de altă parte tratamentele termice aplicate acestei grupe de piese depind de procedeul de semifabricare: turnare în forme temporare, turnare în cochilă, turnare sub presiune.

În funcție de compoziția chimică a aliajului, de condițiile de turnare și prescripțiile privind valorile caracteristicilor mecanice, se pun în evidență mai multe variante tehnologice de tratament termic:

- Îmbătrânire fără călire pentru punere în soluție, (T 1).

Se aplică pieselor turnate în cochilă și supuse unor solicitări medii.

- Călire pentru punere în soluție urmată de îmbătrânire naturală, (T 2). Se aplică pieselor soliciitate complex în exploatare și care trebuie să aibă valori ridicate pentru caracteristicile de plasticitate.

- Călire pentru punere în soluție urmată de îmbătrânire parțială, (T 3). Comparativ cu varianta T-2 scad valorile caracteristicilor de plasticitate; se indică a se aplica pieselor pu-ternic soliciitate static și dinamic.



- Călire pentru punere în soluție urmată de îmbătrânire completă pentru atingerea durității maxime, (T 4). Se aplică pieselor ce lucrează în condiții de solicitări statice mari.

- Călire pentru punere în soluție și "revenire" pentru stabilizarea structurală și dimensională, (T 5). Se obține o structură de echilibru prin descompunerea soluției solide supra-saturate, ceea ce asigură stabilitate structurală și dimensională pieselor supuse încălzirii în exploatare.

Ținând seama de particularitățile structurilor de turnare, neomogenitate chimică și structurală, structură grosolană etc., se indică următorii parametri tehnologici:

- temperatura de încălzire în vederea călirii pentru punere în soluție se adoptă, conform diagramelor de echilibru, la limita superioară admisă. Temperatura se menține într-un interval foarte strâns  $\pm 3^{\circ}\text{C} \dots \pm 5^{\circ}\text{C}$ ;

- durata de menținere: 2...20 ore, (se recomandă 4...5 ore);

- răcirea se face în apă încălzită la  $50 \dots 90^{\circ}\text{C}$ . Intervalul de timp dintre scoaterii piesei din cuptor și trecerea ei în mediul de răcire trebuie să fie până la câteva secunde.

- temperatura de încălzire la îmbătrânire se menține constantă în limite foarte restrânse:  $\pm 3^{\circ}\text{C} \dots \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

- răcirea după îmbătrânire se face în aer.

### 8.3.2. Tratamente termice aplicate semifabricatelor forjate.

Având în vedere condițiile în care se desfășoară deformarea plastică la cald, se recomandă ca toate piesele după terminarea forjării să fie supuse unei răciri controlate și unui tratament termic.

Tratamentele termice aplicate semifabricatelor forjate vor îndeplini următoarele obiective:

- eliminarea sau diminuarea tensiunilor reziduale;
- anularea defectelor de natură chimică: segregatii, fulgi;
- asigurarea unei prelucrabilități prin aşchiere corespunzătoare;
- asigurarea proprietăților mecanice impuse prin condițiile tehnice.

#### 8.3.2.1. Tensiuni în semifabricate forjate.

În timpul deformării plastice prin forjare materialul metalic se răcește. Plasticitatea ridicată și reducerea vitezei de răcire prin efectul termic al deformării plastice diminuează valorile tensiunilor create în procesul răcirii. Indiferent de compoziția chimică a oțelului și dimensiunile semifabricatului tensiunile generate în această etapă nu afectează integritatea materialului.

Tensiunile termice din semifabricate forjate sînt rezultatul răcirii neuniforme pe secțiuni. Valorile acestor tensiuni sînt cu atît mai ridicate cu cît viteza de răcire este mai mare, cu cît semifabricatul este mai gros și cu cît coeficientul de conductibilitate termică al metalului este mai mic.

Evoluția stării tensiunilor de natură termică, (v. fig. 279), indică în prima parte a răcirii, după terminarea deformării plastice la cald, generarea unor tensiuni de întindere, (notate cu semnul (+)), în zona periferică, respectiv tensiuni de compresie, (semnul (-)), în zona centrală. În timp, datorită contracției zonei centrale mai calde și imposibilității de deformare a zonei periferice, se creează tensiuni de întindere în zona centrală a semifabricatului și de compresie la periferia acestuia.

Deoarece schimbarea semnului tensiunilor se produce la temperaturi sub  $300^{\circ}\text{C}$ , cînd este posibilă și fisurarea pienei, răcirea trebuie încetinită imediat după terminarea forjării și

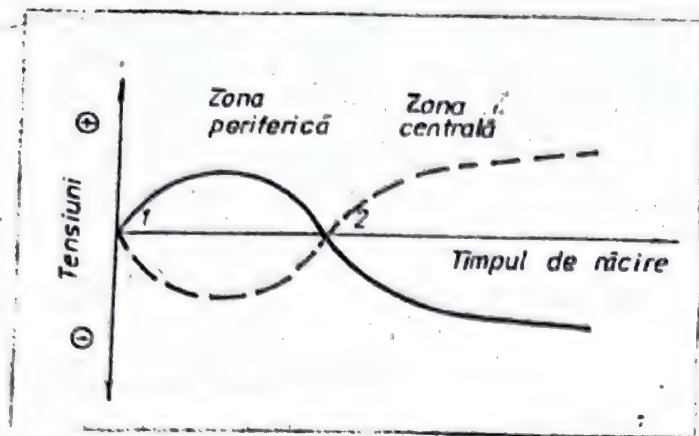


Fig.279. Evoluția tensiunilor termice în secțiunea unei piese răcite după forjare.

terne apreciable. Aceste tensiuni se amplifică odată cu micșorarea temperaturii la care are loc deformarea plastică. Procesul de recristalizare înlătură efectele ecruisării dar este afectat în sens negativ de scăderea temperaturii materialului metalic.

În anumite condiții, în materialul metalic supus deformării plastice se formează tensiuni remanente de deformare plastică. Mărimea acestor tensiuni depinde de condițiile de deformare plastică, (viteză de deformare plastică, coreiaj etc.) și de temperatură, valoarea lor fiind cu atât mai mare cu cât viteza și gradul de deformare sînt mai mari și cu cât temperatura de deformare este mai joasă.

Evoluția stărilor tensionale la răcirea pieselor forjate cu tensiuni reziduale de deformare plastică este prezentată în fig.280. Și în acest caz reducerea vitezei de răcire imediat după terminarea forjării, (intervalul 1-2), contribuie la reducerea tensiunilor remanente la sfîrșitul răcirii.

Dacă valoarea tensiunilor remanente depășește la un moment dat valoarea limitei de curgere a materialului metalic se pierde integritatea semifabricatului.

După deformarea plastică la cald, în timpul răcirii, în materialul metalic se pot produce transformări de fază. Ne-

menținută în regim controlat.

În timpul deformării plastice la cald se desfășoară la nivelul materialului metalic două procese opuse: ecruisarea și recristalizarea. Ecruisarea determină formarea unor tensiuni in-



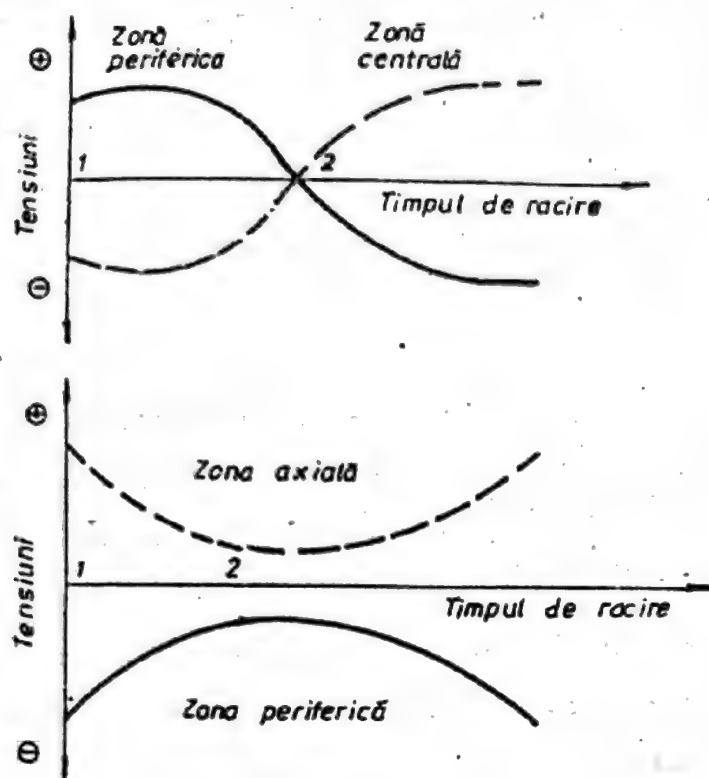


Fig.280. Evoluția tensiunilor interne la răcirea pieselor forjate cu tensiuni reziduale de deformare plastică.

mată este mai îndepărtată de structura de echilibru. Tensiunile de natură structurală se sumează vectorial cu tensiunile de natură termică sau mecanică și pot afecta integritatea materialului metalic.

#### Observații:

- tensiunile de natură termică, structurală sau mecanică, (de deformare plastică), generează o stare de tensiuni remanente;
- în exploatare, tensiunile remanente se sumează cu tensiunile de lucru. Există situații când se depășește limita de curgere sau rupere a metalului afectând integritatea semifabricatului;
- starea suprafețelor și în principal existența concentratorilor de eforturi afectează distribuția tensiunilor;
- calitatea slabă a oțelului: neomogenitatea chimică, rețasuri,

uniformitatea proceselor de transformare de fază pe secțiunea pieselor supuse răcirii cât și variațiile de volum specific ale constituenților generează tensiuni structurale. Valoarea acestor tensiuni este cu atât mai mare cu cât gradul de subrăcire este mai mare, respectiv cu cât structura nou fer-

microporozități, sufluri, incluziuni etc., favorizează apariția fisurilor prin concentrarea eforturilor interne;

- în semifabricatele forjate pot apărea fisuri la temperatura mediului ambiant, în unele cazuri fiind necesară o intervenție exterioară, (polizare, vibrare, măsurarea durității etc.);

- efectele negative ale tensiunilor remanente pot fi diminuate sau anulate dacă semifabricatele forjate sînt supuse unui tratament termic de detensionare.

#### 8.3.2.2. Defecte tip fulgi în semifabricate forjate.

Fulgii constituie o categorie de defecte foarte periculoase ce apar la răcirea oțelurilor deformate plastic care conțin procente ridicate de gaze, (în special hidrogen). Apariția fulgilor este favorizată de grosimea sau diametrul mare al pieselor, de gradul de aliere al oțelului, de viteza de răcire, de starea de tensiuni etc.

La nivelul aliajelor fier-carbon hidrogenul atomic formează cu fierul soluții solide de interstiție. Datorită dimensiunilor sale, hidrogenul se caracterizează printr-o viteză de difuzie foarte mare, putînd să părăsească fierul la temperaturi puțin superioare, (cca. 150...200°C).

Solubilitatea hidrogenului în oțeluri este influențată de elementele de aliere. Dintre elementele de aliere Ni, Mn, Cr și Nb măresc solubilitatea hidrogenului în fier odată cu creșterea conținutului lor în oțel, (v. fig. 281)

Conținutul de hidrogen din oțeluri depinde și de procedeul de elaborare folosit:

- oțel elaborat în convertizor Bessemer:  $4,5 \text{ cm}^3 \text{ H}_2/100 \text{ g}$ ;
- oțel elaborat în cuptor Martin acid:  $5,25 \text{ cm}^3 \text{ H}_2/100 \text{ g}$ ;
- oțel elaborat în cuptor Martin bazic:  $7,90 \text{ cm}^3 \text{ H}_2/100 \text{ g}$ ;
- oțel elaborat în cuptor electric bazic:  $6,70 \text{ cm}^3 \text{ H}_2/100 \text{ g}$ .

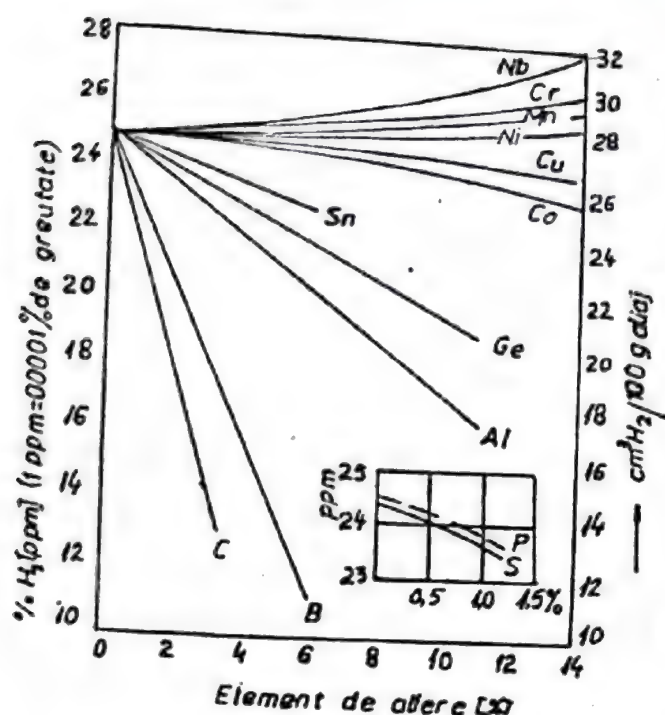


Fig.281. Solubilitatea hidrogenului în aliaje fier-carbon-elemente de aliere la temperatura de 1590°C și presiunea de 1 at.

molecular rezultat are un diametru de cca.  $10^5$  ori mai mare decât hidrogenul atomic și nu mai poate difuza prin materialul metalic exercitând presiuni uriașe, ceea ce poate provoca fisurarea semifabricatului forjat. Datorită faptului că formarea fulgilor se produce la temperaturi sub 200°C când plasticitatea materialului este foarte redusă, ruperea este fără deformații.

Micșorarea conținutului în hidrogen din semifabricatele forjate și implicit evitarea formării fulgilor este posibilă prin aplicarea unui tratament termic complex de dehidrogenare, (recoacere de dehidrogenare).

#### 8.3.2.3. Tratamente termice primare aplicate semifabricatelor forjate.

Tratamentele termice primare aplicate semifabricatelor forjate se diferențiază pe grupe dimensionale: piese forjate

Degazarea oțelurilor și turnarea în vid pot asigura un conținut de 1,2...1,8  $\text{cm}^3 \text{H}_2/100 \text{ g oțel}$ .

În cazul semifabricatelor forjate, odată cu scăderea temperaturii, hidrogenul în exces difuzează spre exterior sau se deplasează în zonele cu porozitate, incluziuni, segregatii etc., unde formează molecule,  $(2\text{H} \rightarrow \text{H}_2)$ .

Hidrogenul mole-



mici și piese forjate mari.

#### 8.3.2.3.a. Tratamente termice primare pentru piese forjate mici.

În general, se consideră piese mici, piesele al căror diametru sau grosime nu depășește 200 mm. Sînt piese puțin susceptibile la apariția fulgilor sau a tensiunilor de natură termică, structurală etc.

Tratamentele termice primare adecvate vor lua în considerație următoarele observații:

- Dacă sfîrșitul operației de forjare se produce la o temperatură cu puțin superioară punctului cinetic  $A_{r3}$  și dacă conținutul în carbon al oțelului nu depășește 0,4%, prin răcire în aer liber se obțin constituenți structurali corespunzători din punctul de vedere al formei, dimensiunilor și distribuției.

- În cazul oțelurilor carbon cu conținut de carbon peste 0,4% și a celor aliate, răcirea în aer liber determină obținerea unor constituenți structurali cu grad ridicat de dispersie, greu de preluorat prin aşchiere. Se recomandă aplicarea unei recoaceri subcritice în scopul glabelizării perlitei, micșorării durității și reducerii tensiunilor interne.

- Dacă sfîrșitul deformării plastice se produce la temperaturi cu mult superioare lui  $A_{r3}$ , structura formată prin răcire în aer liber păstrează efectele supraîncălzirii la deformare plastică, (structură Widmanstätten). Semifabricatele forjate se supun în acest caz unui tratament de recoacere completă sau unui tratament termic de normalizare urmat de revenire înaltă.

- Dacă deformarea plastică s-a terminat în domeniul de temperaturi  $A_{r3}$ -  $A_{r1}$  ferita proeutectoidă din oțelurile hipoeutectoidice, precum și austenita netransformată prezintă o orientare pe direcția principală a deformării. La răcirea în aer a acestor oțeluri rezultă o structură în benzi. Pentru ameliorarea caracteristicilor mecanice este necesară aplicarea unei recoaceri

de regenerare completă.

- Tratamentele termice primare indicate a se aplica semifabricatelor forjate executate din oțeluri hipereutectoidice au drept scop obținerea unei structuri de perlită globulară și cementită globulară fină. Se prescrie: recoacere subcritică, (pentru oțeluri eutectoidice), recoacere incompletă sau recoacere pendulară de globulizare.

#### 8.3.2.3.b. Tratamente termice primare aplicate semifabricatelor mari forjate.

Aplicate unor semifabricate forjate cu grosimi de peste 200 mm executate, în general, din oțeluri aliate, tratamentele termice primare au drept scop reducerea la minimum a stării tensiunilor remanente și dehidrogenarea oțelului în scopul evitării formării fisurilor.

În baza datelor prezentate în literatura tehnică de specialitate se diferențiază următoarele soluții tehnologice:

- Regimul I: răcire dirijată după forjare. Semifabricatele se așează în gropi de răcire și se acoperă cu materiale termizolante mărunte: nisip uscat, cenușă etc. Se recomandă ca semifabricatele să fie lipsite de tensiuni de deformare plastică, iar așezarea lor în groapă să se facă pe suportți speciali. Durata răcirii unor asemenea piese este de câteva zile. Există riscul fisurării semifabricatelor și, în consecință, răcirea lentă după forjare se recomandă numai pentru piese mijlocii, de complexitate redusă, executate din oțeluri carbon și slab aliate turnate în vid.

- Regimul II: recoacere subcritică. Se poate aplica pieselor forjate mijlocii executate din oțeluri carbon și slab aliate de construcții și oțeluri carbon și slab aliate de scule, (v.fig. 282).

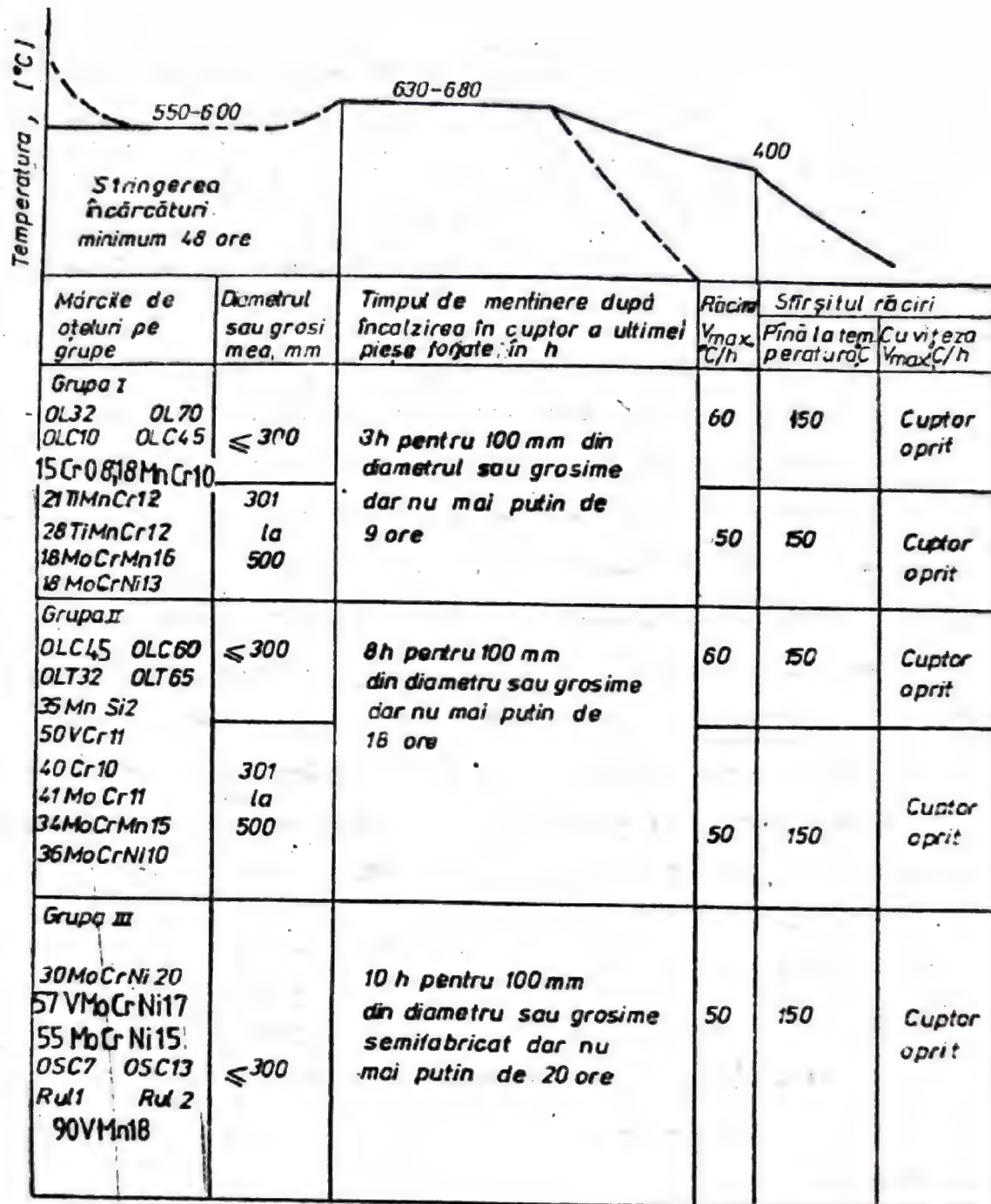


Fig.282. Ciclul tratamentului termic de recoacere subcritică aplicat semifabricatelor mari forjate cu specificații pentru parametrii tehnologici pe grupe de oțeluri.

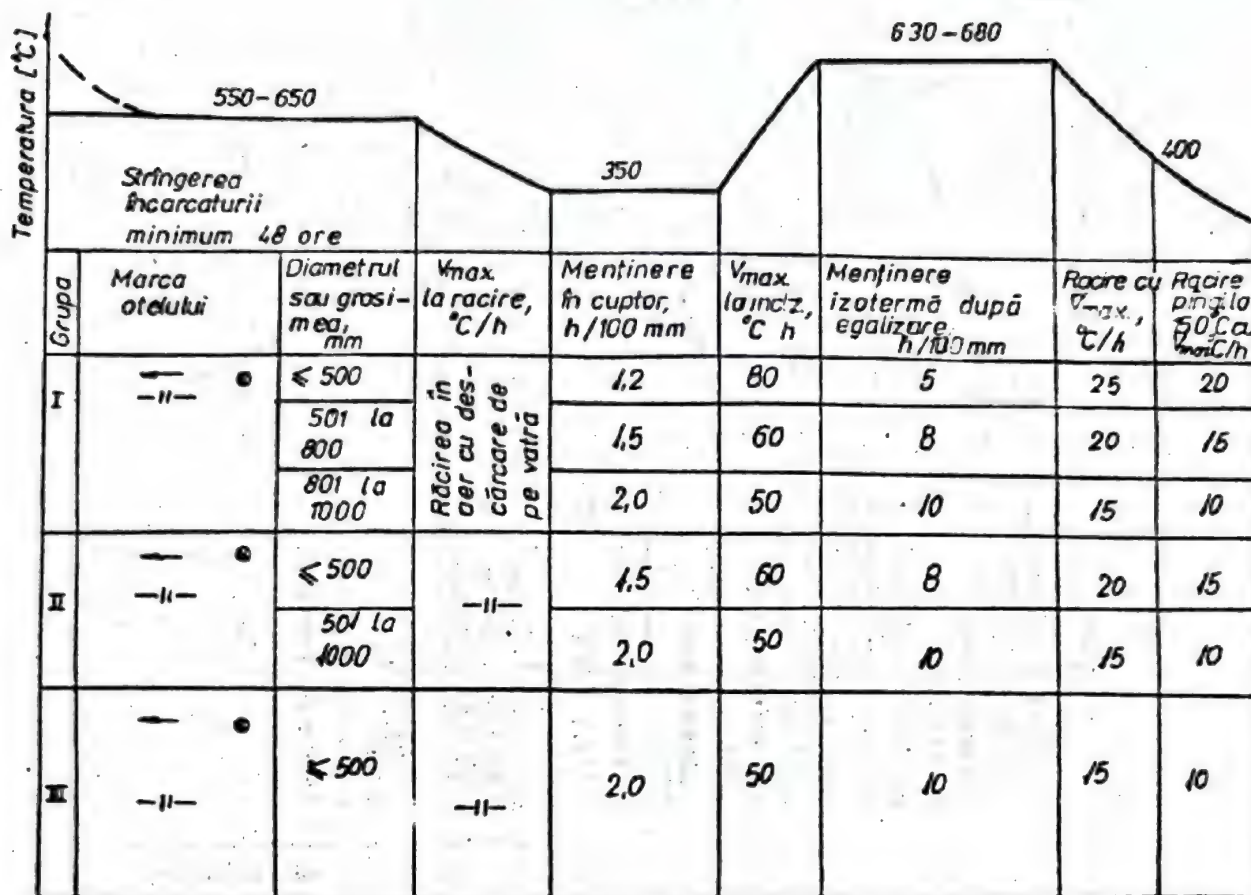


**Observații:**

- regimurile de tratament termic au fost stabilite pentru oțeluri nedegazate, dar cu un conținut de hidrogen sub  $5,0 \text{ cm}^3 \text{ H}_2/100 \text{ g}$ . Pentru fiecare  $1 \text{ cm}^3 \text{ H}_2/100 \text{ g}$  în plus, durata menținerii la  $630...680^\circ\text{C}$  se va majora cu 50%;
- regimul care se prescrie trebuie să fie acoperitor pentru fiecare piesă din încălătură;
- se recomandă ca utilaje de tratament termic cupteare cu vatră nebilă sau cupteare adânci, cât mai etanșe, regimul de încălzire-menținere fiind realizat automat;
- răcirea de la  $400^\circ\text{C}$  se face cu arzătoare stinse, guberele de gaze arse complet închise și, dacă este posibil, ușa cuptorului lipită cu argilă pentru a se evita orice tiraj.
- Regimul III: recoacere subcritică cu palier de subrăcire. Regimul de recoacere subcritică cu palier de subrăcire se aplică pieselor mici și mijlocii, rar pieselor mari, executate din oțeluri carbon și slab aliate de construcții, de importanță redusă și în general nu celor cu prescripții de control cu ultrasunete, (v. fig. 283).

**Observații:**

- răcirea pieselor înaintea palierului de menținere la subrăcire, (cca.  $350^\circ\text{C}$ ), se face în aer liber cu descărcare de pe vatra cuptorului. Se va urmări răcirea cât mai uniformă a încălăturii;
- piesele deformată în timpul răcirii se supun redresării având grijă ca temperatura la sfârșitul redresării să nu scadă sub  $450^\circ\text{C}$ ;
- temperatura palierului de menținere izotermă, ( $630...680^\circ\text{C}$ ), trebuie să asigure difuzia hidrogenului și globulizarea constituenților obținuți la răcire.



• Vezi regimul II

Fig. 283. Regimul de recoacere subcritică cu palier de subrăcire.

- Regimul IV: normalizare și recoacere subcritică. Tratamentul satisface toate condițiile tehnice impuse pentru semifabricate forjate mari: redresarea pieselor deformate la răcire, creșterea gradului de dispersie al constituenților, dehidrogenarea structurii. Efectuarea tratamentului necesită utilaje și instalații mai costisitoare.

După forjare piesele se răcesc în aer liniștit până la 400°C, pe toată lungimea, fără ca părțile subțiri să se răcească sub 350°C. Pentru a se evita răcirea părților subțiri sub 350°C părțile subțiri ale piesei se învelesc cu pânză de azbest.

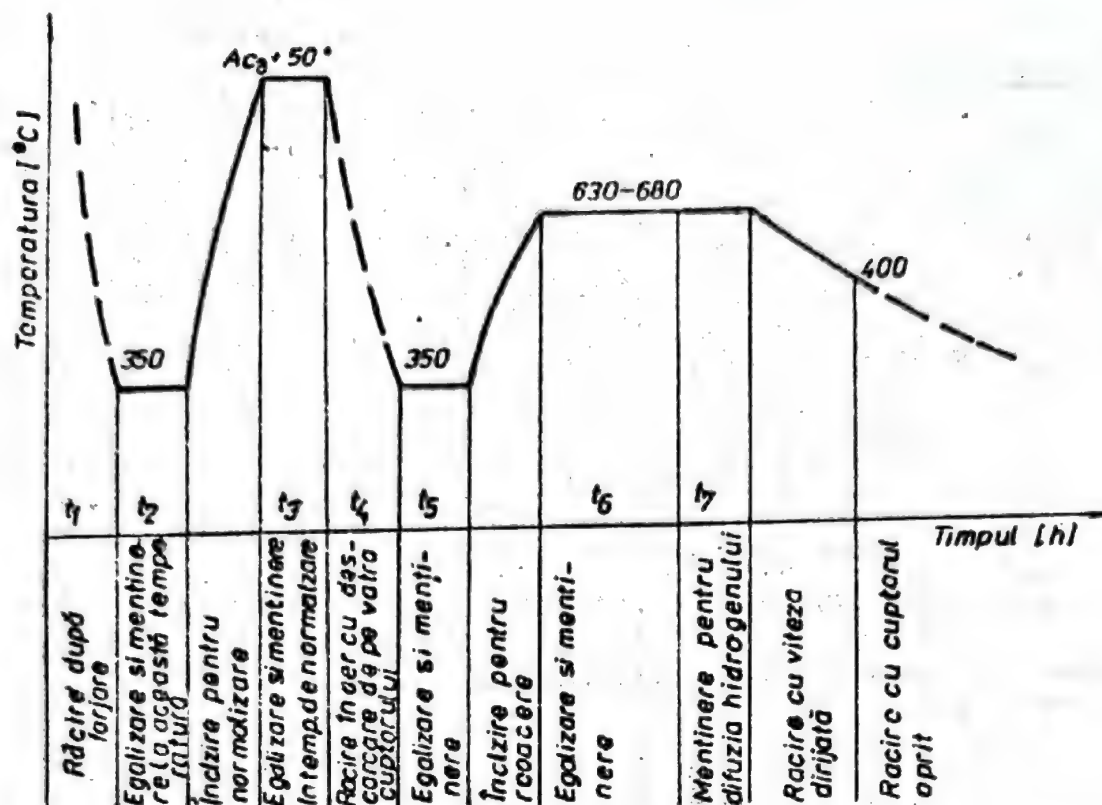


Fig.284. Ciclul tratamentului termic de normalizare și recoacere subcritică aplicat semifabricatelor forjate mari.

Când suprafețele zonelor de grosime maximă ating temperaturi de cca.  $400^{\circ}\text{C}$ , piesele se încălzează în cuptoare cu temperatura de  $350^{\circ}\text{C}$  și se mențin pe acest palier termic timpul  $t_2$  stabilit după nomograma din fig.285.

Pentru semifabricatele executate din oțeluri aliate cu elemente care favorizează dizolvarea hidrogenului și stabilizează austenita, la durata  $t_2$  se adaugă cca.8 ore pentru a mări siguranța că transformarea s-a încheiat.

Încălzirea pentru austenitizare la normalizare se execută cu viteza maximă admisă rezultată din condiția evitării deformării și fisurării la încălzire.



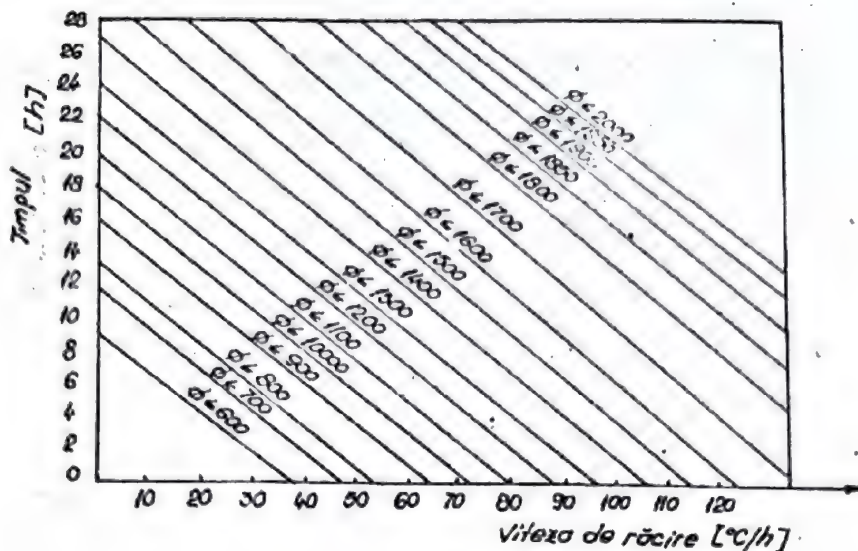


Fig. 285. nomogramă pentru determinarea timpului  $t_2$  de menținere pe palierul de răcire după forjare.

Se prescriu următoarele valori ale vitezelor de încălzire:

Mărcile de oțeluri pe grupe	Intervale de temperaturi	Viteza de încălzire, °C/n.				
		Ø200	Ø601	Ø1001	Ø1201	Ø1400
		Ø600	1000	Ø1200	Ø1400	Ø1700
<b>Grupa I</b>						
OL32 ... OL70						
OLC10 ... OLC45						
15Cr08 ; 18MnCr10						
21TiMnCr12						
28TiMnCr12						
18MoCrMn16						
18MoCrNi13						
<b>Grupa II</b>						
OLC50...OLC60						
OLT32...OLT65						
40Cr10; 41MoCr11;						
34MoCrMn15;						
36MoCrNi10;						
30MoCrNi20						
oțeluri pentru motoare.						
<b>Oțeluri carbon de scule;</b>						
<b>Oțeluri de scule pentru preluorări la cald;</b>						
<b>Oțeluri de rulmenți;</b>						
<b>Oțeluri pentru cilindri de laminor.</b>						
	Pînă la temperatura de 200°C					
	200° - 700°	80	35	25	20	15

Durata de menținere pe palierul de austenitizare, ( $A_{c3} + 50 \dots 80^\circ\text{C}$ ),  $t_3$ , se stabilește analitic sau pe bază de nomograme, (v.fig.286). La piesele de importanță deosebită: rețoare de turbine, cilindri de laminor etc., timpul  $t_3$  determinat după metodele prezentate anterior se amplifică cu 8...10 ore în scopul obținerii prin încălzire a unei austenite omogenă chimic.

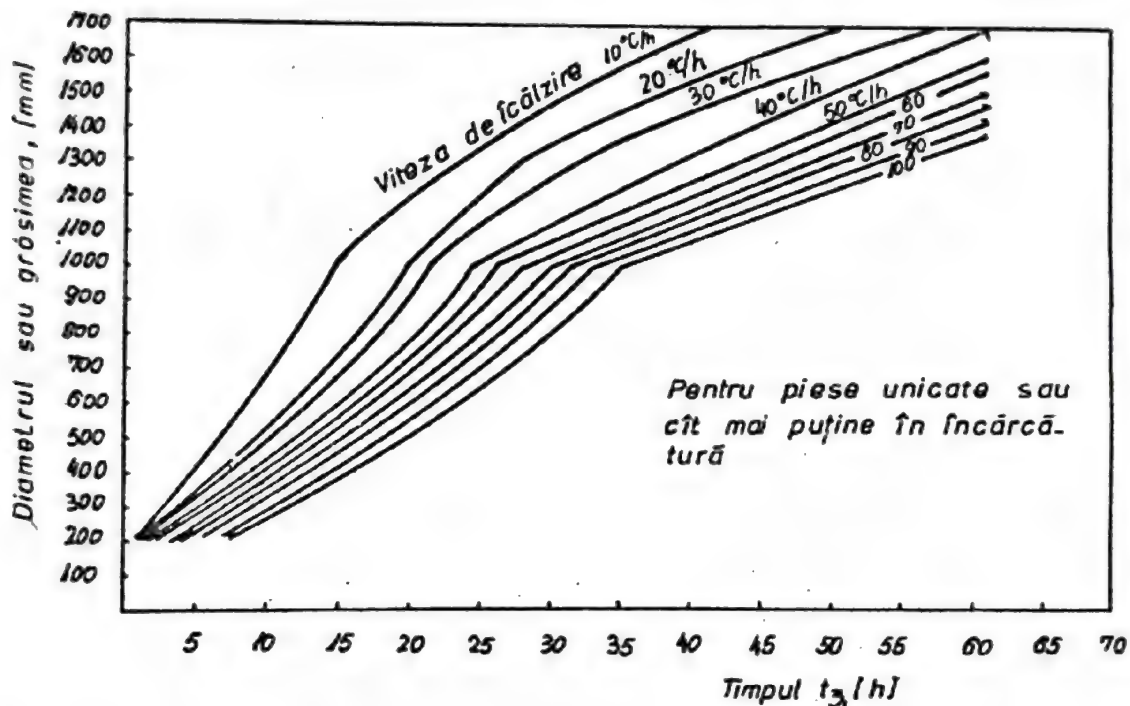


Fig.286. Nomogramă pentru stabilirea duratei de menținere,  $t_3$ , la normalizare.

Răcirea pentru normalizare se face prin descărcarea pieselor de pe vatra cuptorului pe suporturi de răcire. Se va asigura o răcire omogenă în toată masa piesei fără ca pereții cei mai subțiri să-și micșoreze temperatura sub  $450 \dots 500^\circ\text{C}$ , (minim.  $350^\circ\text{C}$ ). În această etapă se poate executa și redresarea avându-se grijă ca la sfârșitul acestei operații temperatura piesei să nu coboare sub  $450^\circ\text{C}$ .

După răcire, piesele se încarcă în cuptoare cu tempera-

tura de  $350^{\circ}\dots 360^{\circ}\text{C}$  și se asigură un palier de menținere,  $t_5$ , a cărui valoare se determină în funcție de durata de răcire la normalizare,  $t_4$ , (v. fig. 287).

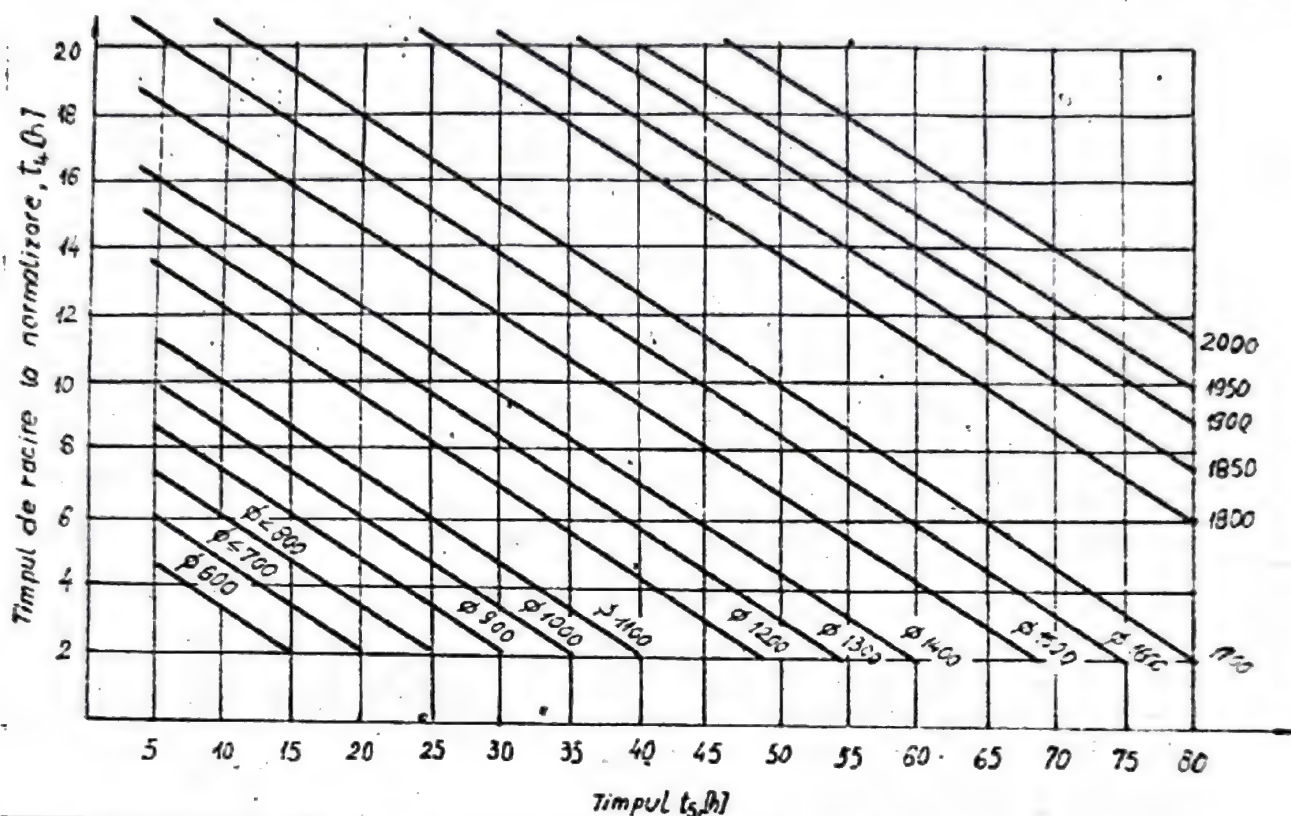


Fig. 287. Nomogramă pentru stabilirea timpului de menținere,  $t_5$ , în funcție de durata de răcire la normalizare,  $t_4$ .

La timpul  $t_5$  pentru piesele de mare importanță se adaugă minim 8 ore pentru a se asigura transformarea completă a austenitei.

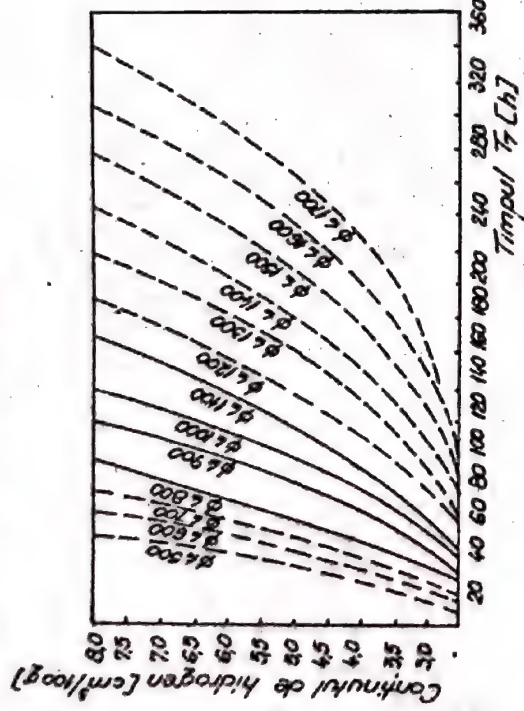
Recoacerea subcritică se execută, în general, în condițiile prescrise la regimurile II și III:

- temperatura de încălzire:  $630^{\circ}\dots 680^{\circ}\text{C}$
- viteza de încălzire limitată;
- durata de menținere se adoptă în funcție de grupa oțelului și dimensiunile semifabricatului, (v. fig. 282 și fig. 283). La piesele de importanță deosebită se adaugă con. 16 ore, dacă conținutul în hidrogen nu depășește  $2,25 \text{ cm}^3 \text{ H}_2/100 \text{ g}$ , sau timpul



$t_7$ , (v. fig. 284 și fig. 288), dacă conținutul real de hidrogen este mai mare;

- răcirea se execută dirijat pînă la  $400^{\circ}\text{C}$ , cu o viteză de răcire de  $2,5...20^{\circ}\text{C/h}$ .



Observații:

- oțelurile susceptibile la fisurare, (aliante cu Mn, Mn-Si, Cr-Mo) se răcesc după forjare la min.  $550...650^{\circ}\text{C}$ . Concomitent se mărește durata de menținere pentru a se realiza transformarea cît mai

Fig. 288. Nomogramă pentru calculul timpului  $t_7$ , de menținere suplimentară la recoacerea și dehidrogenare a oțelurilor. (conținut de hidrogen peste  $2,5 \text{ cm}/100 \text{ g oțel}$ ).

completă a austenitei;

- oțelurile Cr-Ni-Mo-V la care conținutul de vanadiu depășește  $0,1\%$  sînt greu de controlat cu ultrasunete deoarece carburile de vanadiu înrăutățesc transparența ultrasoneră. Se recomandă ca încălzirea pentru normalizare să se execute la  $1000^{\circ}...1050^{\circ}\text{C}$ .

#### 8.3.2.4. Tratamente termice finale aplicate pieselor semifabricate prin forjare.

Tratamentele termice finale se adoptă în funcție de condițiile tehnice impuse luîndu-se în considerație tipul solicitărilor mecanice la care este supus organul de mașină semifabricat prin forjare, natura materialului, forma și dimensiunile piesei etc.

În general, se recomandă ca tratament termic final

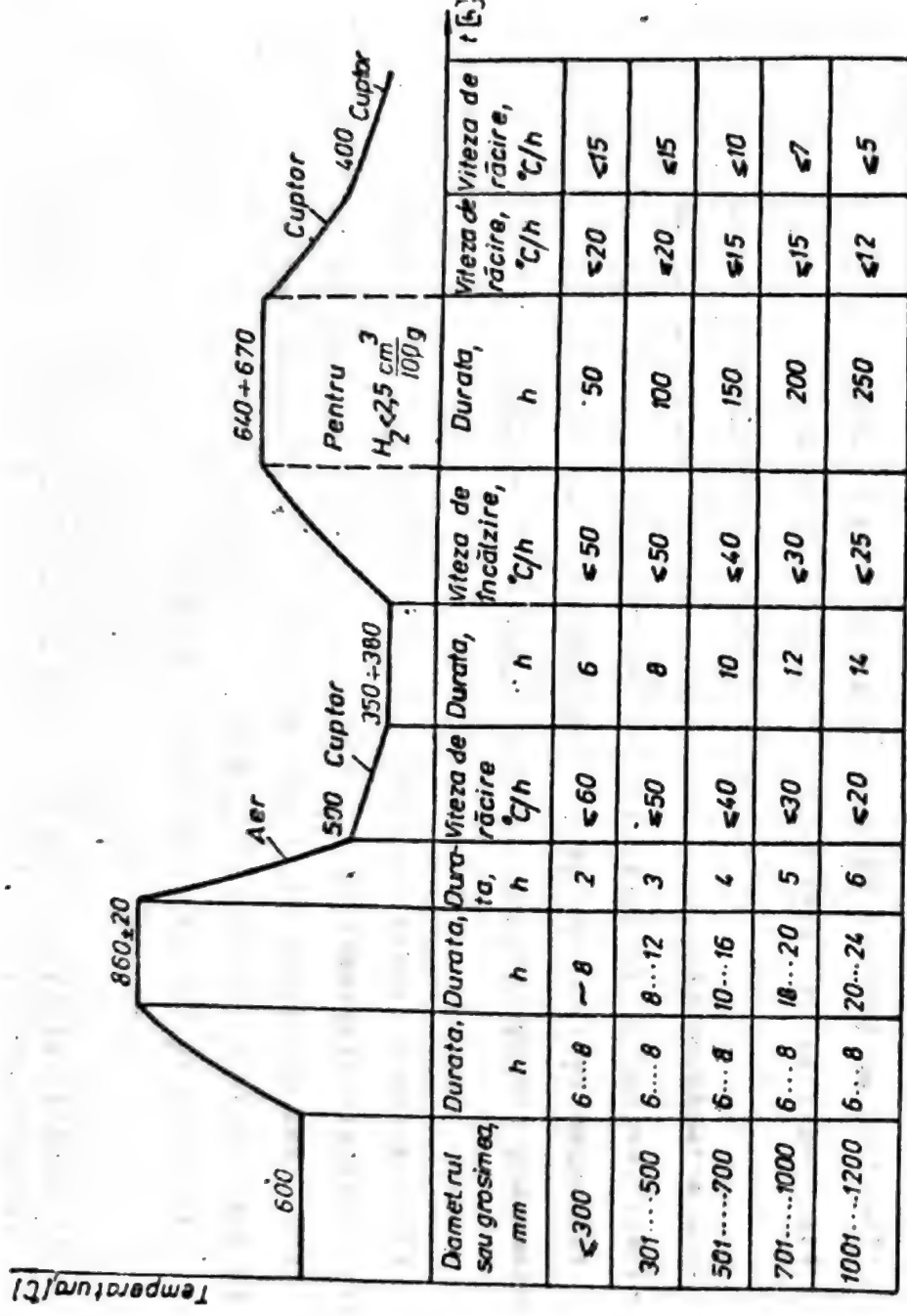


Fig. 289. Ciclul de tratament și parametrii tehnologici orientativi pentru recălcarea de dehidrogenare a pieselor mari ferate de importanță deosebită.

îmbunătățirea. Piesele lungi: are turbină, cilindri de laminare etc., se răcesc la călire în medii pulverizate, (răcire în ceață) pentru a se evita deformațiile. Dacă se constată deformații după operația de călire, semifabricatele se supun unei duble reveniri cu operație de redresare intermediară. Revenirea a II-a are rol de detensionare și se execută la o temperatură inferioară temperaturii la care s-a executat prima revenire.

Pentru îmbunătățirea comportării la uzare și eboseală, se poate aplica un tratament termochimic final de nitrurare, (nitrurare ionică).



### 8.3.3. Tratamente termice aplicate semifabricatelor obținute prin deformare plastică la rece.

#### 8.3.3.1. Tratamente termice aplicate sîrmelor.

Sîrmele trefilate la rece la dimensiuni intermediare se supun, în anumite cazuri, unui tratament termic de recoacere de recristalizare. Acest tratament termic conferă materialului deformabilitatea plastică necesară continuării trefilării la rece.

Parametrii tehnologici, (temperatura și durata tratamentului termic), se stabilesc în funcție de valorile prescrise pentru caracteristicile mecanice, conținutul în carbon și elemente de aliere, gradul de deformare plastică la rece, structura inițială a materialului metalic.

Recoacerea de recristalizare a sîrmelor executate din oțeluri aliate ce prezintă în structură carburi se deosebește de recoacerea de recristalizare aplicată sîrmelor executate din oțeluri carbon. Tratamentul presupune în acest caz recristalizarea feritei, globulizarea completă și coalescența carburilor. Se conferă oțelurilor plasticitate și preluorabilitate prin așchiere.

În cazurile în care se urmărește să se asigure o deformabilitate la rece superioară, iar semifabricatelor valori ridicate ale caracteristicilor mecanice, se aplică tratamentul termic de patentare.

Tratamentul termic de patentare presupune austenitizarea completă a oțelului, (830...1000°C), încălzirea fiind urmată de o răcire izotermă la 450...550°C cu o menținere de durată, (cca.1...3 ore). Structura formată prin patentare este uniformă fiind constituită din bainită și perlită lamelară foarte fină, (ferita fiind absentă sau prezentă în proporții mici).



Sîrmele trase la rece la dimensiuni finale se supun, potrivit destinației, unuia sau mai multor tratamente termice: recoaceri de recristalizare, recoaceri pentru detensionare, recoaceri pentru globulizarea carburilor, normalizare, călire și revenire etc.

Recoacerea pentru recristalizare se aplică ca tratament termic final cînd sîrmele se livrează în stare moale.

Recoacerea pentru detensionare se aplică în cazurile în care se urmărește realizarea valorilor prescrise pentru stabilitatea dimensională și caracteristicile mecanice. Tratamentul constă în încălzire la o temperatură inferioară pragului de recristalizare, (cca.  $370-410^{\circ}\text{C}$ ) cu durate de menținere foarte scurte: 20...25 secunde. Tratamentul termic se aplică sîrmelor trase la rece pentru armături în betoane precomprimate.

Recoacerea pentru globulizare este o recoacere subcritică și se aplică cu precădere sîrmelor supuse patentării și apoi trefilării la rece. Ca urmare, se obține o structură globulară fină și uniformă într-un timp de încălzire relativ scurt.

Călirea martensitică urmată de revenire înaltă, (îmbătrînire), se aplică ca tratament termic final sîrmelor cărora li se prescriu valori ridicate pentru rezistența la rupere și pentru caracteristicile de plasticitate-tenacitate, (caracteristici mecanice care nu pot fi asigurate prin trefilare). Tehnologic, tratamentul se execută în baza prescripțiilor specifice materialului și semifabricatului.

Călirea de punere în soluție se aplică sîrmelor executate din oțeluri aliate cu mangan care se ecruiesc în procesul de trefilare. Tratamentul termic constă dintr-o încălzire la cca.  $1100...1150^{\circ}\text{C}$  cu o durată de menținere de 3...4 min/mm grosime semifabricat și răcire în aer sau în apă. Prin tratament se conferă materialului caracteristicile de plasticitate necesare

continuării trefilării.

Defecte specifice tratamentelor termice aplicate sîrmelor trefilate-trase la rece:

- porțiuni fragile pe lungimea sîrmei trefilate după patentare. Causa defectului e constituie intreruperea accidentală a procesului de patentare și în consecință răcirea în aer a unor porțiuni de semifabricat;

- depășirea temperaturii admise la receacerea pentru globulizare. Se produce austenitizarea parțială a structurii și la răcire se generează perlită lamelară. Scade deformabilitatea la rece. Remedierea defectului constă în patentarea corectă a sîrmei urmată de receacerea de globulizare;

- separări de grafit. Defectul apare în sîrme din oțeluri cu conținut ridicat de carbon supuse unui număr mare de treceri la trefilare cu receaceri repetate pentru recristalizare. Defectul se consideră iremediabil.

#### 8.3.3.2. Tratamente termice aplicate tablelor și benzilor laminate la rece.

Tratamentele termice aplicate tablelor și benzilor au următoarele obiective:

- asigurarea caracteristicilor tehnologice impuse prin condiții tehnice în cazurile în care se continuă deformarea plastică la rece, (laminare la rece, îndoire-profilare, ambutisare, ștanțare etc.);

- asigurarea caracteristicilor fizice-mecanice și chimice cerute în exploatare.

Parametrii tehnologici tipici ai acestor tratamente termice se stabilesc în funcție de obiectivele impuse, diferențiat pe grupe de oțeluri: oțeluri carbon și slab aliate pentru construcții metalice și pentru construcția de mașini, oțeluri aliate pentru construcția de mașini, oțeluri carbon și aliate

pentru scule, oțeluri anticorozive și refractare, oțeluri electrotehnice etc.

Tablele și benzile laminate la rece executate din oțeluri carbon și aliate pentru construcții metalice și pentru construcția de mașini sînt supuse unui tratament termic de reoacere subcritică în scopul obținerii unor proprietăți de plasticitate corespunzătoare. În cazul în care se fac mai mulți reduceri de secțiune prin laminare la rece, se aplică ca operații intermediare un număr corespunzător de astfel de tratamente termice. Se recomandă următoarele regimuri de tratament termic:

- table laminate la rece din oțeluri pentru cazane, (K41...K52): încălzire la  $590...610^{\circ}\text{C}$  cu o menținere de 6...8 ore și răcire lentă pînă la cea.  $180...200^{\circ}\text{C}$ ;
- table din oțeluri carbon de calitate, (OLC25...OLC50): încălzire la  $620...640^{\circ}\text{C}$  cu o menținere de 3...6 ore și răcire lentă pînă la cea.  $180...200^{\circ}\text{C}$ ;
- table din oțeluri pentru arcuiri, (OLC55A...OLC85A, etc.): încălzire la  $640...660^{\circ}\text{C}$  cu o menținere de 1...2 ore și răcire în aer;
- benzi în rulouri executate din oțel OLC35; OLC45; OLC50; încălzire la  $620...640^{\circ}\text{C}$  cu o menținere de 5 ore și răcire lentă;
- table laminate la rece din oțeluri aliate cu crom, mangan și siliciu: încălzire la  $700...730^{\circ}\text{C}$  cu o menținere de 6-8 ore și răcire dirijată pînă la temperatura de  $200^{\circ}\text{C}$ .

Observație: durata de încălzire pînă la temperatura de tratament termic se calculează luîndu-se în considerație un timp unitar de 15-16 min/mm, ptr. table și 3-4 min/mm, ptr. rulouri.

În anumite situații se recomandă ca tratament termic normalizare urmată de revenire înaltă. Normalizarea se efectuează în cuptoare continue, iar revenirea în cuptoare clopot.



Tratamentul termic aplicat trebuie să asigure o structură uniformă. Pentru ferită se prescrie punctajul 6-8 care corespunde unor valori optime ale deformabilității la rece. Carburile trebuie să fie fine și uniform distribuite. Prezența aglomerărilor de carburi sau a carburilor cu distribuție în rețea contribuie la amorsarea fisurilor în timpul deformării plastice la rece.

Oțelurile de scule se laminează la rece sub formă de table sau benzi de grosime mică. Tratamentul termic primar aplicat acestor tipuri de semifabricate este recălcarea de globulizare.

Pentru table se recomandă următoarele regimuri de tratament termic:

- table din oțelurile OSC7, OSC8 și OSC8M: încălzire la  $760^{\circ}\text{C}$  cu o viteză de încălzire de  $80...100^{\circ}\text{C/h}$ , menținere la temperatură 4...5 ore și răcire lentă, (cca. 5 ore sub clopot și 6 ore sub muflă;
- table din oțelurile OSC10, OSC11 și OSC13: încălzire la  $780^{\circ}\text{C}$  cu o viteză de încălzire de  $80...100^{\circ}\text{C/h}$ , menținere la temperatură 4...5 ore și răcire lentă;
- table din oțeluri rapide: încălzire lentă la  $860...880^{\circ}\text{C}$ , menținere la temperatura de regim 5-6 ore și răcire sub clopot până la  $500^{\circ}\text{C}$ , apoi în aer.

În ceea ce privește tratamentul termic aplicat benzilor în rulouri destinate a fi laminate la rece se recomandă următorii parametri tehnologici: încălzire la  $670...690^{\circ}\text{C}$  cu o durată de menținere de 4-5 min/mm grosime rulu și răcire dirijată, (sub clopot, cca. 5 ore).

Tablele executate din oțeluri înalt aliate cu crom și nichel se supun unui tratament termic de călire pentru punere în soluție: încălzire la  $1000...1150^{\circ}\text{C}$ , (în funcție de calitatea oțelului) și răcire rapidă, (apă etc.). La determinarea duratei de încălzire a tablelor și benzilor în domeniul de temperaturi

indicat, se ia în calcul timpul unitar de 0,8...1,0 min/mm grosime.

Tablele de transformator laminate la rece se supun următoarelor tipuri de tratamente termice: recoaceri intermediare pentru îmbunătățirea deformabilității plastice și recoacere la temperatură înaltă cu încălzire în vid sau în atmosferă de hidrogen pentru obținerea proprietăților magnetice prescrise.

Recoacerile intermediare se execută cu încălzire la 840-860°C. Durata de menținere depinde de mărimea încălziturii și distribuția ruloarelor în garjă, fiind cuprinsă între 15 și 18 ore. Răcirea ruloarelor sub muflă se consideră de 1,5 ore pentru o tenă încălzitură.

Recoacerea pentru obținerea proprietăților magnetice necesare tablelor din oțel de transformator se realizează cu încălzire la o temperatură de 1100-1200°C, în vid, în atmosferă de hidrogen sau în atmosferă de hidrogen și azot. Incălzirea la temperatura de regim se realizează în cca. 22...24 ore. Durata de menținere la temperatura de regim este de cca. 2 ore, după care temperatura scade la 1080...1100° și încălzitura se menține 22 ore. Răcirea finală se execută dirijat până la temperatura de 600°C în timp de 70...80 ore și de la 600°C la 200°C în timp de 20...24 ore.

#### 8.3.3.3. Tratamente termice aplicate țevilor laminate la rece.

Țevilor laminate la rece li se aplică o recoacere de recristalizare cu încălzire la 600°C. Incălzirea se realizează în cuptoare continue cu role, sau prin inducție în curenți de înaltă frecvență.

Țevilor sudate li se aplică un tratament termic de recoacere care are drept scop detensionarea materialului.

### 8.3.4. Tehnologii de tratament termic aplicate pieselor executate din oțeluri inoxidabile.

#### 8.3.4.1. Familii de oțeluri inoxidabile.

În funcție de matricea structurală, oțelurile inoxidabile se împart în trei mari familii:

- oțeluri martensitice;
- oțeluri feritice;
- oțeluri austenitice.

Oțelurile martensitice se caracterizează printr-un conținut ridicat în crom, (ca. 12-18%) și printr-un conținut în carbon peste 0,1%, (0,4...0,5%C). Pentru îmbunătățirea rezistenței la oxidare la cald se aliază cu siliciu, iar pentru a menține tenacitatea atunci când conținutul în crom este prea ridicat, (17...18% Cr), sînt aliate cu nichel, (1,2...4% Ni).

Oțelurile martensitice se împart în patru grupe, după conținutul de carbon și de crom:

Grupa	Compoziția chimică						Oțeluri inoxidabile indigene
	C	Cr	Ni	Mo	Si	alte el.	
M1	0,15	11,5	-	-	-	-	10Cr130
		14,0					20Cr130
M2	0,30	13,0	-	-	0,40	Mn; Cu; Al; Mo.	30Cr130
	0,45	15,0					40Cr130
M3	0,60	16,0	-	0,75	-	-	90Cr130
	1,20	18,0					
M4	0,10	15,0	1,2	-	-	-	
	0,20	18,0	4,0				

Oțelurile feritice sînt oțeluri monofazice care conțin 0,10...0,35% C și 15...30% Cr. Prezintă o rezistență la coroziune superioară celor martensitice și sînt relativ ieftine.



În funcție de conținutul în carbon și crom, oțelurile inoxidabile feritice se împart în două grupe:  $F_1$  și  $F_2$ .

grupa oțelului feritic	Compoziția chimică a oțelului								
	C	Cr	Al	Si	Ni	Cu	Ti	Mo	N
F <sub>1</sub>	0,08	15	4,0	0,5	1,0	2,0	0,5	2,0	-
	0,12	18	max	1,0	max	max	max	max	
F <sub>2</sub>	0,10	25	-	-	1,0	2,0	-	2,0	0,12
	0,35	30			4,0	max		max	0,25

Oțeluri inoxidabile feritice, STAS 3583-80: 8TiCr170;  
8Cr170; 12TiCr250 etc.

Oțelurile feritice prezintă fragilitate după sudare. Microalierarea cu Ni, Cu, Al, Mo, Ti, Nb și reducerea conținutului în carbon îmbunătățește prelucrarea prin sudare și permite prelucrarea oțelurilor feritice prin presare la rece.

Oțelurile inoxidabile austenitice conțin carbon sub 0,1%, 12...25% Cr și 8...30% Ni, existînd o anumită proporție de echivalent între elementele alfa-gene și gamma-gene. Se împart în mai multe grupe, în funcție de elementele principale de aliere.

Grupe oțelului austenitic	Compoziția chimică a oțelului													
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	N	Mo	Cu	W	Ti	Nb	
oțeluri Cr-Ni A 18-8	0,03 0,05	0,6 1,0	0,3 1,0	0,03	0,04	12 25	7 21	0,12 0,22	-	1,8 2,2	-	7% C	12% C	
oțeluri Cr-Ni-Mo A 18-8-Mo	0,03 0,07	5,0 2,0	0,2 1,0	0,03	0,04	16 28	5 17	0,12 0,22	1,3 5,0	1,8 2,2	2 4	7% C	12% C	
oțeluri Cr-Mn A 12-14	0,10 0,20	13 15	0,8 max	0,03	0,04	16 18	0,80 max	0,25 0,37	0,3	0,3	0,2	0,2	-	
oțeluri Cr-Ni-Mn A 20-6-10	0,10 max	5 16	0,8	0,03	0,04	13 17	3 5	-	0,3	0,3	0,2	5% C	0,05 0,14	
oțeluri Cr-Ni-Mn-N A 20-6-9-07	0,10 max	5 15	0,8	-	-	12 28	2,5 20,0	0,25 0,37	2 3	-	-	0,2	--	

Oțelurile inoxidabile austenitice sînt materiale care prezintă caracteristici mecanice deosebite, rezistență la coroziune, deformabilitate plastică ușoară, sudabilitate bună; (STAS 3583-80: 12TiNiCr180; 12NiCr250; 10TiMoNiCr175 etc.).

Oțelurile inoxidabile austenito-feritice sînt oțeluri similare cu cele analizate mai sus, la care s-a reglat conținutul de elemente alfa-gene și gama-gene: max.0,05% C; max.8% Ni; 20...22% Cr; 2...2,5% Mo; 1,5% Cu; 3,0% Mn.

Oțelurile austenito-feritice se comportă bine la turnare și sudare dar prezintă dificultăți de forjare, laminare, trefilare, ambutisare.

#### 8.3.4.2. Tratamente termice aplicate semifabricatelor executate din oțeluri inoxidabile martensitice.

Oțelurile inoxidabile martensitice suferă tratamente termice primare, (recoaceri complete) și tratamente termice secundare, (căliri și reveniri), specifice fiecărei grupe, ( $M_1...M_4$ ).

Tratamentele termice primare au drept scop micșorarea durității oțelurilor și îmbunătățirea prelucrabilității prin aşchiere. Se recomandă viteze mici de încălzire, ( $30-40^{\circ}\text{C/h}$ ), pentru a nu se creia tensiuni termice de valori mari care ar putea produce deformarea sau fisurarea semifabricatelor. Temperaturile de tratament termic sînt cuprinse între  $840^{\circ}\text{C}$  și  $900^{\circ}\text{C}$ , (în funcție de compoziția chimică a oțelului). Durata de menținere la temperatura de regim se calculează pentru 5 min/mm grosime semifabricat. Răcirea se face controlat pînă la  $500^{\circ}\text{C}$  cu o viteză de oca.  $20^{\circ}\text{C/h}$ , (v.fig.290)

Se pot aplica și recoaceri subcritice, (v.fig.291), cînd se urmărește cu precădere îmbunătățirea prelucrabilității prin aşchiere. Temperaturile de încălzire sînt situate sub valoarea lui  $A_{c1}$ , iar durata de menținere este de 3...8 min/mm grosime semifabricat.

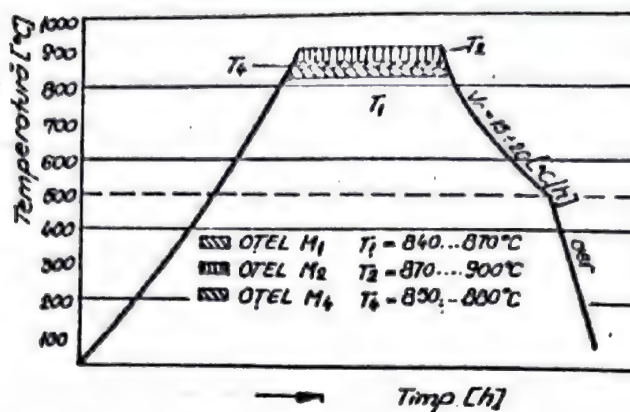


Fig.290. Ciolul de tratament termic specific recoacerii complete a oțelurilor inoxidabile martensitice.

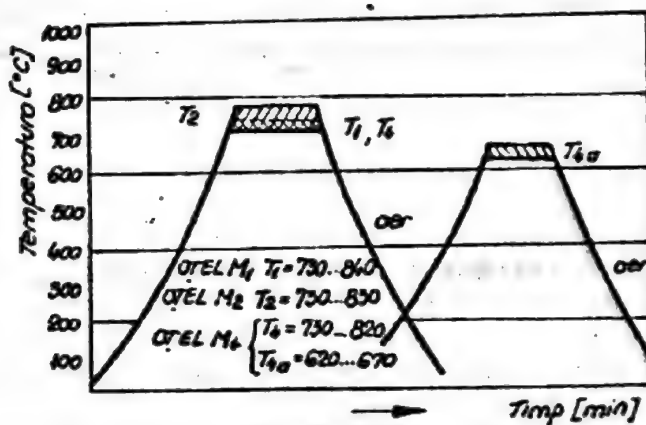


Fig.291. Ciolul de tratament termic specific recoacerii subcritice a oțelurilor inoxidabile martensitice.

Tratamentul termic de călire aplicat oțelurilor inoxidabile martensitice presupune austenitizarea completă a structurii,



( $A_{03}$  cca.  $920^{\circ}\text{C}$ ). În consecință, încălzirea pentru călire se face la  $1000-1100^{\circ}\text{C}$ , în funcție de compoziția chimică a oțelului. La aceeași marcă de oțel, în funcție de forma și dimensiunile pieselor se poate adopta una din variantele de încălzire prezentate în fig.292.

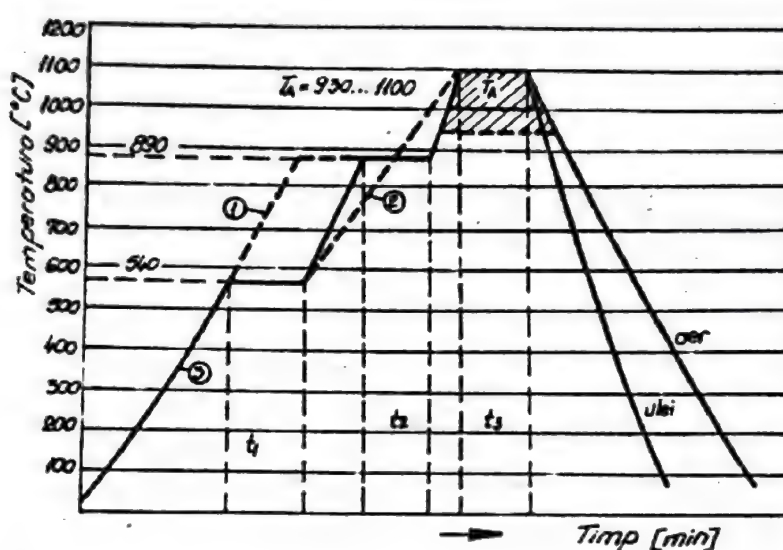


Fig.292. Cicluri de tratament termic practicate la călirea oțelurilor inoxidabile martensitice.

Pentru piese subțiri, ( $Bi < 0,25$ ), se recomandă ca încălzirea să se facă cu o viteză de  $30-40^{\circ}\text{C/h}$  pînă la temperatura de  $880...890^{\circ}\text{C}$ , cu menținere pentru uniformizarea temperaturii. Încălzirea finală la temperatura de austenitizare se face cu viteză mare, (în băi de săruri) și este urmată de menținere pentru uniformizarea temperaturii și desăvîrșirea transformării de fază. Răcirea se execută în apă sau ulei, în funcție de natura oțelului.

Piese de dimensiuni mijlocii, ( $Bi \approx 0,25$ ), se încălzesc

în trepte, cu menținere la  $540...550^{\circ}\text{C}$  și încălzire finală, (viteze de încălzire:  $30-40^{\circ}\text{C/h}$  la preîncălzire și oca.  $100^{\circ}\text{C/h}$  la încălzire finală). Răcirea se execută în ulei sau aer.

Piese de dimensiuni mari, ( $B_1 > 0,25$ ), se încălzesc în trepte cu menținere la  $540...550^{\circ}\text{C}$ ,  $890...900^{\circ}\text{C}$  și la temperatura de austenitizare. Răcirea se execută în ulei sau aer.

Orientativ, se recomandă la temperatura de austenitizare următoarele durate de menținere:

- $2...3$  min/mm, pentru piese ce nu depășesc grosimea de 5 mm;
- $4...5$  min/mm, pentru piese ce nu depășesc grosimea de 12 mm;
- $5...10$  min/mm, pentru piese cu grosimi mai mari de 25 mm.

Observații cu caracter tehnologic:

- temperatura de austenitizare se alege în funcție de compoziția chimică a oțelului și are o deosebită influență asupra rezultatelor tratamentului;

- răcirea semifabricatelor se face pînă la o temperatură sub  $100^{\circ}\text{C}$ , dat fiind faptul că oțelurile inoxidabile martensitice au temperatura de început de transformare martensitică situată la valori scăzute;

- se recomandă ca în cazul în care răcirea la călire se execută în ulei de tratament termic, temperatura mediului de răcire să fie de  $40...60^{\circ}\text{C}$ ;

- răcirea în aer se recomandă la călirea pieselor de formă complexă, cu schimbări bruște de secțiuni.

Tratamentul termic de revenire aplicat oțelurilor inoxidabile martensitice prezintă un interes deosebit, prin revenire asigurîndu-se tenacitatea și rezistența la coroziune cerute prin condițiile tehnice. În cazul în care se urmărește obținerea unei rezistențe mecanice mari se recomandă revenirea joasă:  $150-250^{\circ}\text{C}$  cu o durată de menținere de max. 2 ore. Revenirea de detensionare cu încălzire la max.  $420...430^{\circ}\text{C}$ , cu o durată de menținere de

cca. 4 ore și răcire în aer liniștit asigură obținerea unei rezistențe ridicate la coroziune.

Revenirea la temperaturi ridicate: 600...700°C cu durate de menținere de 1...4 ore și răcire în aer, ulei sau apă, asigură o bună comportare a semifabricatelor la solicitări prin șoc.

Se impun următoarele observații cu caracter tehnologic:

- se vor evita pe cât posibil domeniile de temperaturi specifice revenirilor medii: 450...470°C, când apare fragilitatea de revenire. Revenirea în acest interval de temperaturi favorizează separarea carburilor de crom, fapt ce explică scăderea rezistenței la coroziune;

- la oțelurile cu un conținut mai mare de carbon revenirea se aplică imediat după călire deoarece în caz contrar apar fisuri;

- revenirea la temperaturi ridicate este specifică oțelurilor inoxidabile martensitice cu conținut mic de carbon.

#### 8.3.4.3. Tratamente termice aplicate semifabricatelor executate din oțeluri inoxidabile feritice.

Oțelurile inoxidabile feritice prezintă, de regulă, o structură ce nu suportă transformări de fază la încălzire-răcire. În consecință, încălzirile și răcirile dirijate pot provoca doar modificări dimensionale și de formă ale grăunților de ferită, (se modifică gradul de dispersie).

Durificarea structurală a oțelurilor inoxidabile feritice se poate realiza în anumite cazuri speciale. Dacă oțelurile din grupa F<sub>1</sub> sînt încălzite la o temperatură de peste 1000°C și sînt supuse ulterior unei răcirii în apă sau aer, tratamentul termic astfel condus provoacă apariția unor insule de martensită. Aplicarea unui tratament termic de revenire ou încălzire la 480...500°C determină o durificare structurală rezultat al separării



de carburi fine de crom.

Durificarea structurală a oțelurilor inoxidabile feritice determină creșterea rezistenței mecanice, scăderea rezilienței și înrăutățirea rezistenței la coroziune intercrystalină. Efectele durificării structurale se pot anula prin aplicarea unui tratament termic de reoacere ou încălzire la caa. 900°C.

În scopul îmbunătățirii proprietăților tehnologice ale oțelurilor inoxidabile feritice și cu precădere deformabilitatea plastică, se aplică tratamente termice de reoacere. Pentru grade mici de deformare plastică se recomandă încălzirea la 650...830°C, cu menținere de 1...2 min/mm grosime semifabricat și răcire în aer, (v.fig.293).

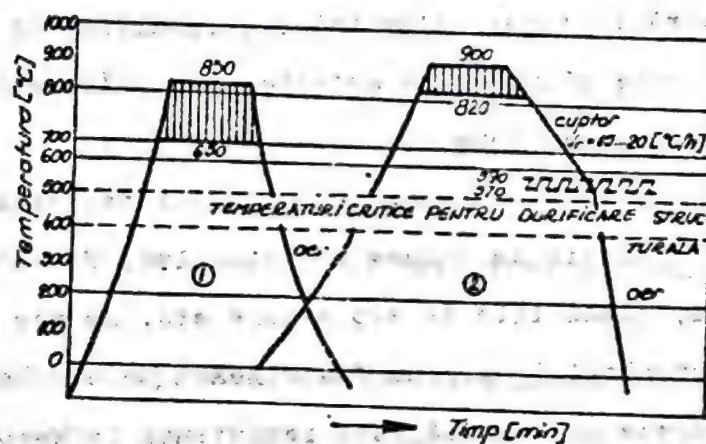


Fig.293. Tipuri de reoaceri aplicate oțelurilor inoxidabile feritice.

În cazul deformațiilor plastice intense se recomandă încălzirea la 820...900°C, cu menținere de 1...2 min/mm și cu răcire dirijată, respectiv 15...30°C/h până la 590...570°C și apoi răcire în aer.

Prescripții tehnologice:

- pentru evitarea efectelor durificării structurale, încăl-

zirea-răcirea în zona temperaturilor 400-500°C se va executa cât mai rapid posibil;

- în cazul în care gradul de deformare plastică nu depășește 8...10% nu se vor aplica recoaceri cu încălzire la temperaturi de 950...1000°C, supraîncălzirile favorizând apariția unei granulații groselane.

#### 8.3.4.4. Tratamente termice aplicate semifabricatelor executate din oțeluri inoxidabile austenitice.

Tratamentele termice specifice semifabricatelor executate din oțeluri inoxidabile austenitice sînt: recoacerea de detensionare, călirea de punere în soluție, recoacerea de sensibilizare la coroziune.

Recoacerea de detensionare-recristalizare se aplică cu scopul micșorării tensiunilor interne rezultate în urma prelucrărilor termice și mecanice anterioare și mărirea rezistenței la coroziune sub tensiune.

Parametrii tehnologici ai regimului de tratament termic se adoptă în funcție de natura materialului, forma și dimensiunile piesei, condițiile de exploatare etc. Se vor adopta acei parametri tehnologici care nu favorizează separarea carburilor de crom deoarece se înrăutățește rezistența la coroziune. Se recomandă următoarele regimuri de tratament termic:

- reperele ce lucrează în condiții severe-solicitări mecanice mari în medii puternic corozive-se supun unor încălziri la  $900 \pm 20^\circ\text{C}$  cu o durată de menținere de 10 min/mm urmate de răciri lente. Oțelurile stabilizate, (cu adăos de titan), se încălzesc la 1000...1120°C cu o durată de menținere de 10 min/mm și răcire în aer. Tratamentul poate fi urmat și de o călire de punere în soluție cînd se urmărește refacerea capacității de deformare plastică.

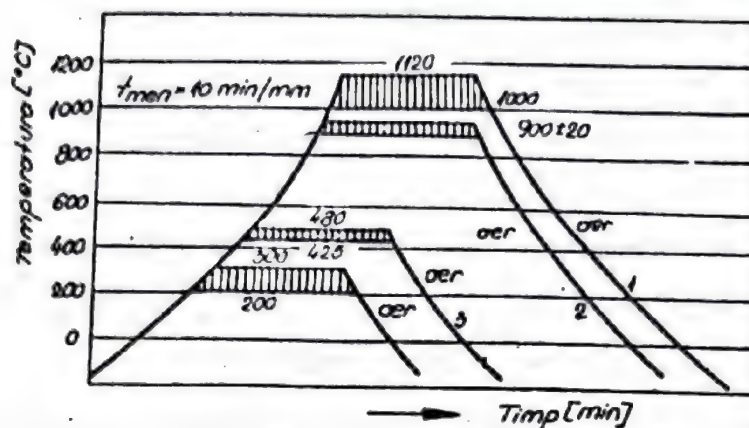


Fig.294. Regimuri de tratamente termice specifice receacerii de detensionare - recristalizare a oțelurilor inoxidabile austenitice.

- reperele pentru care se impun condiții de stabilitate dimensională se supun încălzirii la 200...300°C cu o durată de menținere de 10 min/mm și răcire în aer. Efectele detensionării fiind reduse, ciclul de tratament termic recomandat, (varianta 4) se aplică cu precădere oțelurilor inoxidabile austenitice stabilizate pentru care se constată și creșterea limitei de elasticitate;
- detensionarea parțială a oțelurilor stabilizate se realizează după varianta 3, cu încălzire la 450...480°C, menținere 10 min/mm și răcire în aer;
- încălzirea la temperaturi ridicate: 1000...1120°C, asigură recristalizarea, detensionarea și dizolvarea carburilor de crom. Gradul de deformare aplicat și temperatura de încălzire influențează mărimea grăuntelui de austenită. Nu se recomandă încălzire la 1200°C în cazul în care gradul de deformare este de 5%...10%.

Călire de punere în soluție are aplicabilitate extinsă și are ca scop mărirea rezistenței la coroziune.



Se recomandă următorul regim de tratament termic:

- încălzire la  $1000...1100^{\circ}\text{C}$ ;
- durata de menținere depinde de compoziția chimică a oțelului și de dimensiunile piesei. Se adoptă orientativ  $3...5 \text{ min/mm}$  din grosimea piesei;
- răcirea pieselor cu grosimi de peste  $2 \text{ mm}$  se face în apă, fapt ce evită precipitarea carburilor și permite obținerea austenitei cu grad mare de omogenitate chimică.

Recoacerea de sensibilizare la coroziune se aplică cu scopul de a determina intervalul critic de temperaturi în care un oțel inoxidabil austenitic prezintă sensibilitate la coroziune.

În general, recoacerea de lungă durată, (cca. 2 ore), cu încălzire în intervalul de temperaturi  $450...480^{\circ}\text{C}$  cu răcirea în apă sau aer provoacă separări ale carburilor de crom la limita grăunților de austenită, ceea ce amplifică procesele de coroziune interoristalină. Totodată se constată o creștere a durității și o scădere a rezilienței oțelului sensibilizat prin tratament termic, (v. fig. 295).

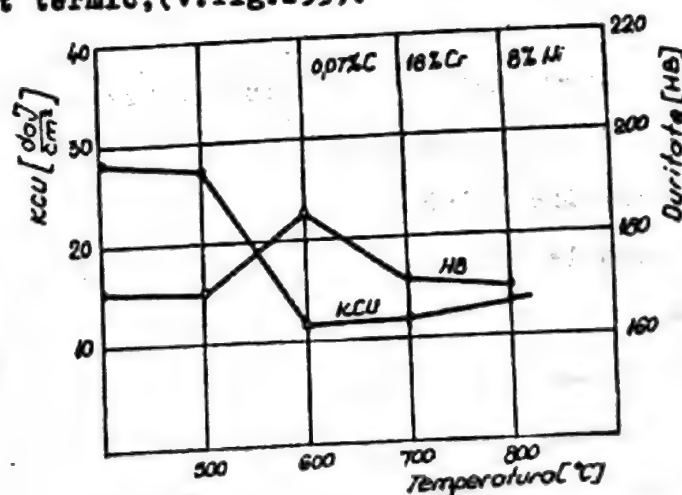


Fig. 295. Influența temperaturii la recoacerea de sensibilizare asupra durității și rezilienței oțelurilor inoxidabile austenitice.

- 189 -

8.3.4.5. Tratamente termice aplicate semifabricatelor executate din oțeluri inoxidabile austenito-feritice.

Oțelurile inoxidabile austenito-feritice se caracterizează prin conținut în carbon sub 0,1%, crom 20...30%, nichel 4...8%, molibden max.2,5%, cupru max.1,5%, titan, niobiu etc.

Oțelurile inoxidabile austenito-feritice își modifică proprietățile mecanice, fizice și tehnologice după tratamentele termice aplicate: călire urmată de revenire joasă sau înaltă.

Călirea oțelurilor inoxidabile austenito-feritice se realizează prin încălziri la 1050...1150°C, cu durate de menținere stabilite în funcție de compoziția chimică a oțelului, dimensiunile pieselor etc., urmate de răcire rapidă în apă, ulei sau aer. Călirea de la temperaturi de 1050...1150°C permite obținerea unei cantități mici de ferită în structura de călire.

Revenirea cu încălzire la 450...600°C contribuie la durificarea structurală a oțelului fără a se constata micșorarea tenacității și rezistenței la coroziune, (precipitatele se separă în austenită și nu formează o rețea continuă).

Revenirea înaltă cu încălzire peste 800°C determină o durificare importantă, ca urmare a formării fazei  $\gamma$ . Se înrăutățesc proprietățile mecanice de plasticitate și reziliență. Deoarece călire și revenirea înaltă fragilizează oțelurile, tratamentul termic nu poate fi aplicat decât pentru piese solicitate intens la uzare.

## Cap. IX CONTROLUL TEHNIC DE CALITATE AL PRODUSELOR

### TRATATE TERMIC SI TERMOCHIMIC

Activitatea de control are un rol deosebit în efectuarea tehnologiilor de tratament termic și mai ales asupra rezultatelor obținute după tratamentul termic.

Prin control tehnic de calitate se înțelege ansamblul de activități desfășurate în scopul obținerii unor produse corespunzătoare utilizării, deci prin care secția, atelierul de tratament termic realizează produse de calitate.

Pentru aceasta controlul de calitate trebuie să cuprindă următoarele patru mari operații:

a) Stabilirea standardelor, normelor și documentației tehnice (desen tehnic, plan de operație, fișă tehnologică) folosite în secția de tratamente termice. Această primă operație presupune:

- alegerea și verificarea tehnologiei și condițiilor tehnologice de tratament termic;
- alegerea și verificarea calității materiilor prime și a produselor înainte de tratamentul termic;
- alegerea utilajelor și aparatelor de măsură folosite;
- stabilirea modului de efectuare a măsurătorilor și a obiectului controlului.

b) Urmărirea desfășurării procesului tehnologic de tratament termic în conformitate cu documentația tehnică în vigoare. Această a doua operație presupune:

- instruirea și urmărirea personalului în ceea ce privește aplicarea normelor tehnologice;
- urmărirea funcționării utilajelor de tratament termic;
- executarea măsurătorilor și verificărilor conform documen-



tației stabilite.

c) Analiza desfășurării procesului tehnologic de tratament termic prin rezultatele obținute. Această operație este legată de:

- stabilirea faptului dacă valorile obținute prin măsurare se încadrează în cele impuse.

d) Luarea măsurilor necesare în funcție de rezultatele obținute din analiza desfășurării procesului tehnologic. Această ultimă și cea mai importantă operație cuprinde:

- adoptarea măsurilor de remediere pentru ca operațiile tehnologice să se desfășoare normal;

- adoptarea măsurilor de remediere a produselor cu defecte.

Toate aceste activități conduc la observația că obținerea unui produs de calitate implică un complex de activități tehnico-organizatorice strâns legate între ele.

În funcție de locul în fluxul tehnologic unde este plasat controlul, în secțiile de tratament termic se deosebesc următoarele tipuri de control tehnic:

a) Controlul materialelor și produselor înainte de tratamentul termic;

b) Controlul desfășurării procesului tehnologic de tratament termic;

c) Controlul rezultatelor tratamentului termic (control final).

#### 9.1. Controlul materialelor și produselor înainte de tratamentul termic

Verificarea semifabricatelor înainte de tratamentul termic are în vedere stabilirea calității materialului, structurii și aspectului dimensional. Condițiile în ceea ce privește calitatea, volumul, caracterul recepției sînt cuprinse în documentația ce însoțește

produsul și este stabilită în atelierele de proiectare tehnologică. Specialistul în tratamente termice trebuie să cunoască metodele și aparatele pentru obținerea datelor necesare controlului, să fie în măsură să interpreteze rezultatele obținute în scopul stabilirii cauzelor care au condus la apariția unui anumit defect și să stabilească măsurile pentru remedierea lui (dacă aceasta mai este posibilă).

### 3.1.1. Controlul compoziției chimice

Compoziția chimică se verifică fie prin analize consacrate, standartizate și care se fac în laborator fie prin metode operative cum sînt: analiza spectrală, analiza magnetometrică, atacul cu sulfat de cupru și proba de scînteii.

#### 3.1.1.1. Analiza spectrală

Analiza spectrală spre deosebire de analiza chimică obișnuită, deseori complicată și foarte îndelungată, permite să se identifice în câteva minute toate elementele care intră în compoziția probei studiate. Din punct de vedere al înregistrării, metodele de analiză spectrală se împart în: metode vizuale, fotografice și fotoelectrice. Prelucrarea acestora se face manual, fie mai ales automat. Rezultate destul de precise se obțin prin folosirea analizei spectrale calitative sau semicantitative, cu ajutorul unui spectroscop numit stiloscop. Principiul analizei spectrale este prezentat schematic în fig. 296 Stiloscopul alimentat de un curent electric de la rețea (220 V), pune în contact cu piesa (locul respectiv fiind curățat prin polizare) electrodul.

Între electrod și piesă se produce un arc electric, cu temperatura foarte înaltă, care vaporizează brusc o parte din oțel. Vaporii obținuți conțin atomi ai fierului și elementelor de aliere, ca-



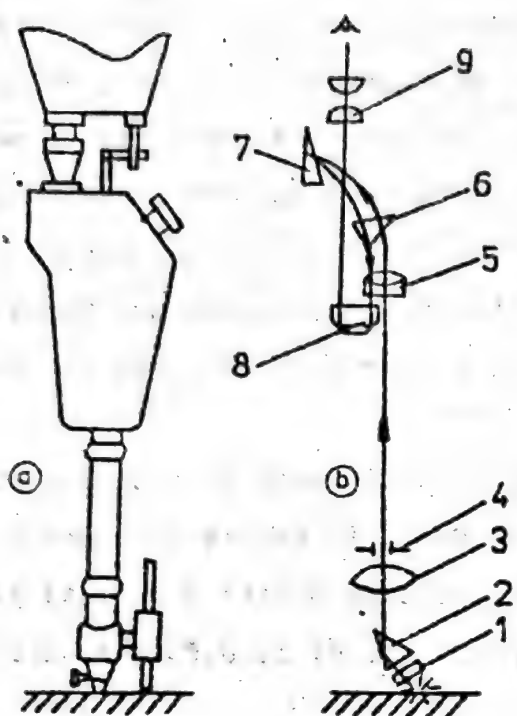


Fig. 296 Stiloscop portabil (a) și schema optică (b) 1-geam de protecție; 2-prismă mobilă; 3-condensator; 4-fantă; 5-obiectiv; 6,7-set de prize de dispersie; 8-prismă dublă mobilă; 9-ocular.

ținutul aproximativ al fiecărui element.

tre emit radiații luminoase de anumite lungimi de undă specifice fiecărui element, formând un spectru de emisie caracteristic. Spectrul de emisie apare mărit în ocularul stiloscopului sub forma unor linii spectrale, mai subțiri sau mai groase, izolate sau grupate.

Prin compararea acestor linii spectrale cu liniile etalon (din catalog) se poate determina calitativ ce elemente de aliere sînt prezente în oțelul respectiv, iar din intensitatea liniilor (grosime, luminositate) se poate determina și con-

#### 9.1.1.2. Analiza magnetometrică

Analiza compoziției chimice prin metoda magnetometrică se bazează pe interdependența ce există între proprietățile magnetice pe de o parte și compoziția chimică și structura pe de altă parte. Prin această metodă se pot separa piese cu compoziție chimică diferită, se pot depista defecte ascunse, se pot identifica piese cu structuri metalografice apropiate. Aparatul utilizat în cadrul acestor analize este alcătuit din două bobine inductoare, montate în opoziție cu diametrul pînă la 300 mm și poate lucra pe două trepte, cu zece grade de amplificare și cinci grade de sensibilitate. De ase-



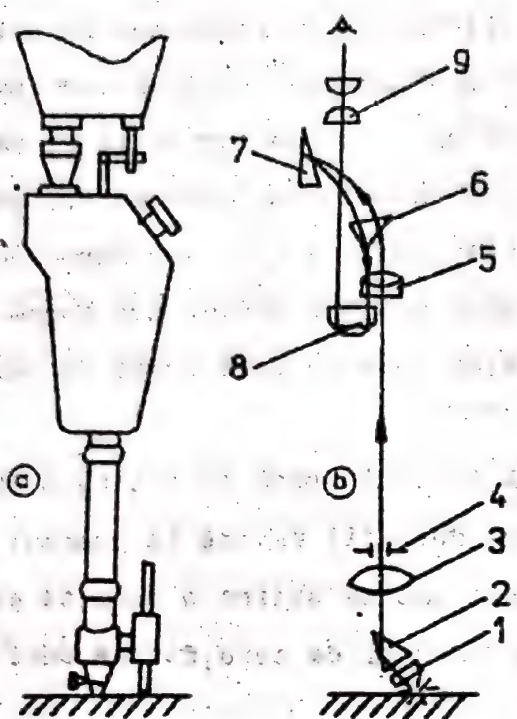


Fig. 296 Stiloscop portabil (a) și schema optică (b) 1-geam de protecție; 2-prismă mobilă; 3-condensator; 4-fantă; 5-obiectiv; 6,7-set de prize de dispersie; 8-prismă dublă mobilă; 9-ocular.

re emit radiații luminoase de anumite lungimi de undă specifice fiecărui element, formând un spectru de emisie caracteristic. Spectrul de emisie apare mărit în ocularul stiloscopului sub forma unor linii spectrale, mai subțiri sau mai groase, izolate sau grupate.

Prin compararea acestor linii spectrale cu liniile etalon (din catalog) se poate determina calitativ ce elemente de aliere sînt prezente în oțelul respectiv, iar din intensitatea liniilor (grosime, luminositate) se poate determina și con-

#### 9.1.1.2. Analiza magnetometrică

Analiza compoziției chimice prin metoda magnetometrică se bazează pe interdependența ce există între proprietățile magnetice pe de o parte și compoziția chimică și structura pe de altă parte. Prin această metodă se pot separa piese cu compoziția chimică diferită, se pot depista defecte ascunse, se pot identifica piese cu structuri metalografice apropiate. Aparatul utilizat în cadrul acestor analize este alcătuit din două bobine inductoare, montate în opoziție cu diametrul pînă la 300 mm și poate lucra pe două trepte, cu zece grade de aplicare și cinci grade de sensibilitate. De ase-

menea este dotat cu un osciloscop catodic și un indicator de deviații. Piesele de controlat trebuie să aibă aceeași secțiune, precum și aceeași poziție în bobină, în timp ce lungimea lor poate fi variabilă. Dacă după reglarea aparatului introducem într-una din bobine o piesă (considerată etalon) deformațiile cîmpului magnetic provocate, sînt înregistrate pe ecranul osciloscopului sub forma unei curbe. Deformația cîmpului magnetic este de fapt curba de permeabilitate diferențială.

Introducînd și cealaltă piesă în osciloscop se obține o linie dreaptă orizontală și indicatorul de deviații revine la punctul zero, dovada unei structuri asemănătoare sau se obține o anumită curbă indicatorul deplasîndu-se înafara punctului de zero, dovada unei structuri diferite.

Între diferite calități de oțeluri se obțin "figuri caracteristice" pe osciloscop ca în exemplele din fig 297 pentru oțeluri rapide, oțeluri inoxidabile și oțeluri înalt aliate cu Cr.

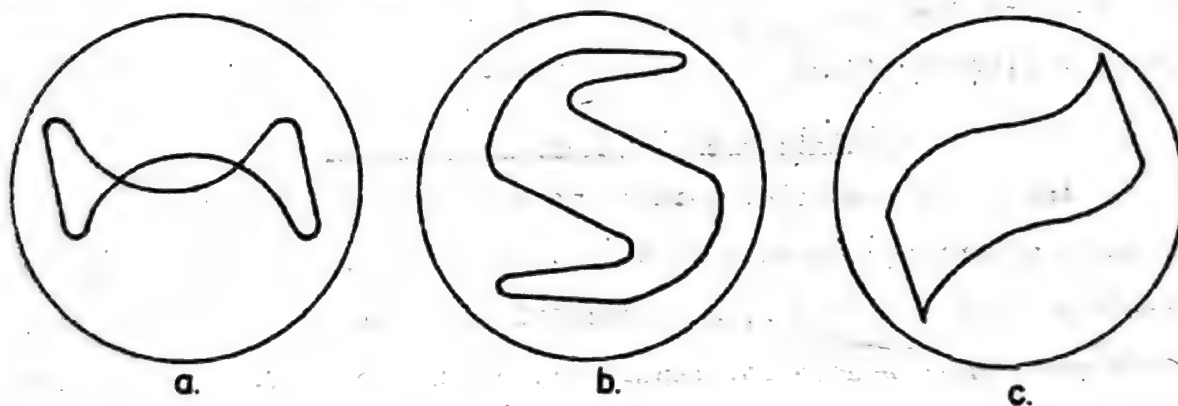


Fig. 297 Spoturi caracteristice pe osciloscop la controlul magnetometric  
a-oțeluri rapide; b-oțeluri inoxidabile; c-oțeluri aliate cu Cr.

Pentru controlul metalelor și aliajelor neferoase, deci fără proprietăți magnetice, aparatul utilizează efectul curenților Foucault dezvoltăți în metalul controlat prin cîmpul inductor în curent alternativ la 50 Hz.



menea este dotat cu un osciloscop catodic și un indicator de deviații. Piese de controlat trebuie să aibă aceeași secțiune, precum și aceeași poziție în bobină, în timp ce lungimea lor poate fi variabilă. Dacă după reglarea aparatului introducem într-una din bobine o piesă (considerată etalon) deformațiile cîmpului magnetic provocate, sînt înregistrate pe ecranul osciloscopului sub forma unei curbe. Deformația cîmpului magnetic este de fapt curba de permeabilitate diferențială.

Introducînd și cealaltă piesă în osciloscop se obține o linie dreaptă orizontală și indicatorul de deviații revine la punctul zero, dovada unei structuri asemănătoare sau se obține o anumită curbă indicatorul deplasîndu-se înafara punctului de zero, dovada unei structuri diferite.

Între diferite calități de oțeluri se obțin "figuri caracteristice" pe osciloscop ca în exemplele din fig. 297 pentru oțeluri rapide, oțeluri inoxidabile și oțeluri înalt aliate cu Cr.

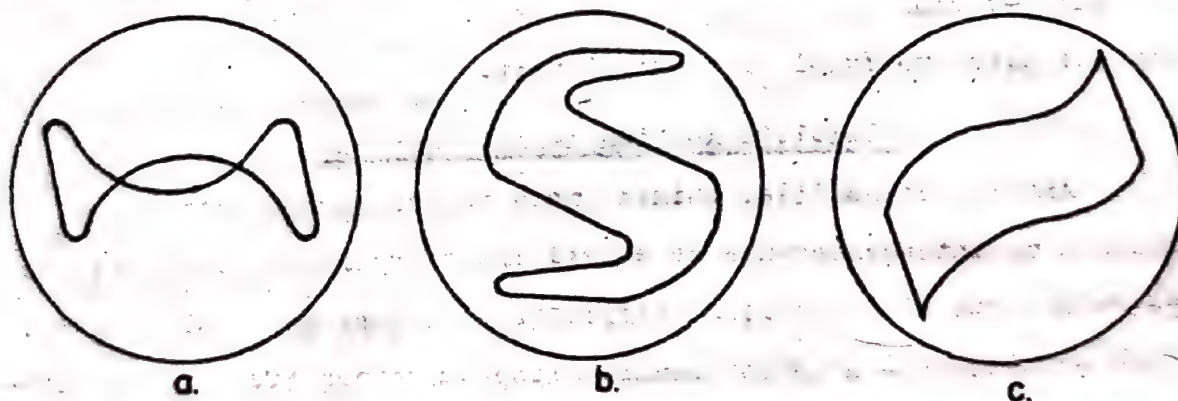


Fig. 297 Spoturi caracteristice pe osciloscop la controlul magnetometric

a-oțeluri rapide; b-oțeluri inoxidabile; c-oțeluri aliate cu Cr.

Pentru controlul metalelor și aliajelor neferoase, deci fără proprietăți magnetice, aparatul utilizează efectul curenților Foucault dezvoltăți în metalul controlat prin cîmpul inductor în curent alternativ la 50 Hz.



Pentru cazul identificării mărcii unui oțel se intră în cadrul secției de tratament termic sunt utilizate o serie de metode practice operative și în același timp eficiente. Metoda magnetică permite să fie deosebite oțelurile nemagnetice de cele magnetice. Dintre oțeluri, cele din clasa austenitică nu sunt feromagnetice, nefiind atrase de magnet. Deci prin încercarea cu magnetul se poate exclude sau include posibilitatea ca materialul metalic să fie un oțel austenitic. Dacă încercarea conduce la concluzia că el nu este feromagnetic trebuie continuată verificarea pentru a stabili ce fel de oțel austenitic este; oțel austenitic aliat cu crom și nichel sau oțel austenitic manganos. Oțelurile austenitice înalt aliate cu crom și nichel sunt inoxidabile, pe când cele înalt aliate cu mangan nu sunt inoxidabile. Acest lucru se pune în evidență prin analiza cu sulfat de cupru.

#### 9.1.1.3. Analiza cu $\text{CuSO}_4$

Analiza cu sulfat de cupru constă în depunerea pe o suprafață curățată prin polizare sau pilire a unei picături de soluție 10% de sulfat de cupru.

În cazul în care piesa este din oțel austenitic înalt aliat cu mangan, se va forma o pată de culoare arămie. Prin reacția:



este pus în libertate cuprul care formează pată respectivă.

Oțelul austenitic înalt aliat cu crom și nichel fiind inoxidabil, nu este atacat chimic de soluția de sulfat de cupru.

Prin încercarea cu magnetul urmată de încercarea cu picătura de sulfat de cupru, se identifică oțelurile din clasa austenitică înalt aliate cu crom și nichel sau mangan. Dacă încercarea conduce la concluzia că materialul metalic este feromagnetic (este atras

Pentru cazul identificării mărcii unui oțel ce intră în cadrul secției de tratament termic sunt utilizate o serie de metode practice operative și în același timp eficiente. Metoda magnetică permite să fie deosebite oțelurile nemagnetice de cele magnetice. Dintre oțeluri, cele din clasa austenitică nu sunt feromagnetice, ne fiind atrase de magnet. Deci prin încercarea cu magnetul se poate exclude sau include posibilitatea ca materialul metalic să fie un oțel austenitic. Dacă încercarea conduce la concluzia că el nu este feromagnetic trebuie continuată verificarea pentru a stabili ce fel de oțel austenitic este; oțel austenitic aliat cu crom și nichel sau oțel austenitic manganez. Oțelurile austenitice înalt aliate cu crom și nichel sunt inoxidabile, pe când cele înalt aliate cu mangan nu sunt inoxidabile. Acest lucru se pune în evidență prin analiza cu sulfat de cupru.

#### 9.1.1.3. Analiza cu $\text{CuSO}_4$

Analiza cu sulfat de cupru constă în depunerea pe o suprafață curățată prin polizare sau pilire a unei picături de soluție 10% de sulfat de cupru.

În cazul în care piesa este din oțel austenitic înalt aliat cu mangan, se va forma o pată de culoare arămie. Prin reacția:



este pus în libertate cuprul care formează pată respectivă.

Oțelul austenitic înalt aliat cu crom și nichel fiind inoxidabil, nu este atacat chimic de soluția de sulfat de cupru.

Prin încercarea cu magnetul urmată de încercarea cu picătura de sulfat de cupru, se identifică oțelurile din clasa austenitică înalt aliate cu crom și nichel sau mangan. Dacă încercarea conduce la concluzia că materialul metalic este feromagnetic (este atras



de magnet) trebuie continuate încercările prin metode diverse, fiind posibil ca el să facă parte din clasele perlitică (hipoeutectoid, eutectoid sau hipereutectoid), martensitică, feritică, feritică cu carburi, ledeburitică. Indicații privind conținutul de carbon precum și prezența unor elemente de aliere se obțin prin proba de polizor (aspectul scinteiilor).

#### 9.1.1.4. Proba de scintei

Identificarea mărcii de oțel cu ajutorul scinteiilor constă în compararea formei și aspectului fasciculelor de scintei (Jerbei) desprinse la polizarea piesei sau semifabricatului din oțel necunoscut cu fasciculul de scintei ce se desprind la polizarea unei bare etalon dintr-un oțel cu compoziția cunoscută. Când scinteiile desprinse de pe piesă sau semifabricat sînt identice cu scinteiile ce se desprind din etalon înseamnă că marca celor două oțeluri este aceeași. În acest caz compoziția chimică a oțelului căutat este aceeași cu compoziția chimică a oțelului din care a fost confecționat etalonul.

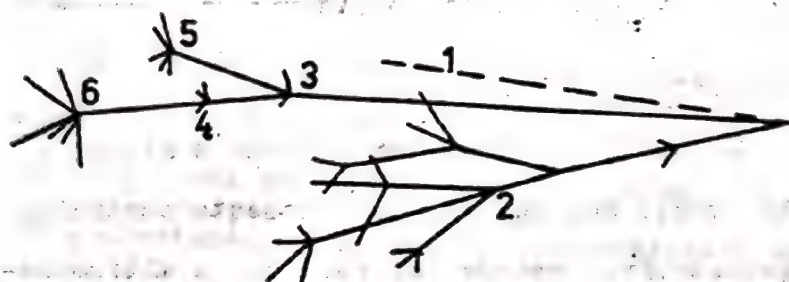
Pentru obținerea unor rezultate cît mai exacte sînt necesare următoarele:

- polizorul să fie instalat într-o cameră cu luminozitate redusă și să nu fie folosit pentru operațiile de polizare curentă; granulația și duritatea pietrei trebuie să fie medie iar viteza periferică de ordinul  $20 \pm 25$  m/s;
- etalonul și piesa se apasă pe piatra de polizor cu aceeași forță și dacă este posibil ambele deodată; în acest scop polizorul se prevede cu un suport mobil pe care să se poată așeza atît piesa cît și etalonul;
- stratul decarburat de pe suprafața piesei din zona de încercare se îndepărtează printr-o polizare prealabilă.



Elementele de comparație care trebuie urmărite în fasciculul de scintei sînt: culoarea (roșie, roșie-deschisă sau alb-gălbui), forma (continuă sau întreruptă), exploziile și bifurcările sau ramificațiile.

Din punctul de vedere al forme razele scintei pot forma un fascicul de linii întrerupte (linia 1, fig. 298) sau un fascicul de linii continue cu ramificare 2 sau cu bifurcare 3. Liniiile conti-



nue pot fi însoțite de explozii într-o zonă intermediară 4 sau la capătul final 5 și 6 cu prelungirea excesivă a unor raze 6 sau fără pre-

Fig 298. Aspectul traiectoriei scinteiilor, în timpul polizării.

lungirea acestora 5. În fig 299 se arată orientativ aspectul fascicu-

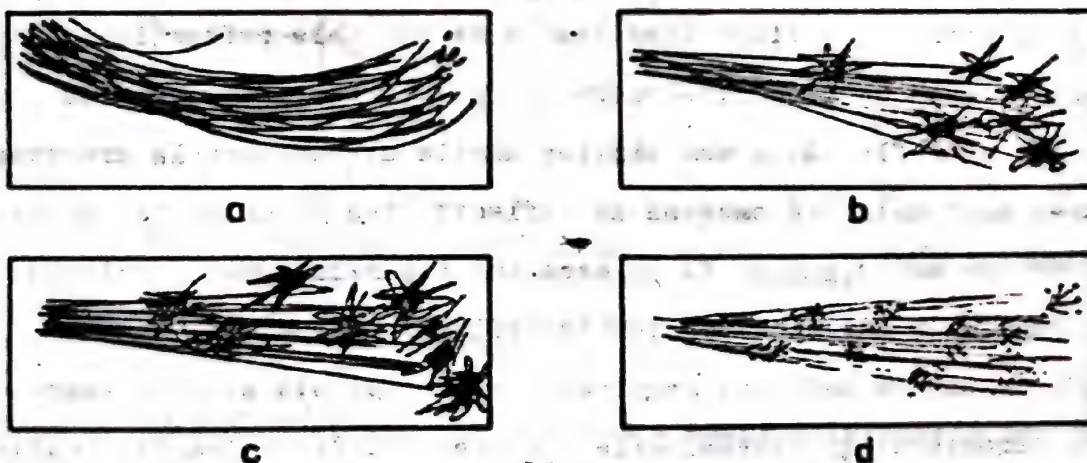


Fig 299. Aspectul fasciculului de scintei pentru diferite mărci de oțeluri  
a-oțel 13CrNi30; b-oțel nealiat OLC-35; c-oțel nealiat OSC10;  
d- oțel aliat 13CN30

lului de scintei pentru câteva mărci de oțeluri.

În general se poate spune că oțelurile nealiate sau slab ali-

ate cu pînă la 0,25%C, dau scintei slabe, cu mănunchiul lung și luminozitate clară. Exploziile sînt rare și se formează mai mult în vîrf și mai rar pe raze.

Pe măsura creșterii conținutului de carbon mănunchiul de scintei devine mai puternic și mai luminos. Oțelurile rapide și cele inoxidabile prezintă un aspect cu totul deosebit, formînd un fascicul de linii continue și cu explozii compacte la capătul razelor roșietice.

#### 9.1.2. Controlul defectoscopic

Pentru punerea în evidență a defectelor interne a pieselor ce urmează a fi tratate termic cel mai des se folosește controlul defectoscopic cu ultrasunete. Prin metoda controlului cu ultrasunete pot fi puse în evidență defecte interne ca: fisuri, porozități, fulgi, etc., fără a distruge integritatea pieselor sau semifabricatelor controlate. În esență controlul cu ultrasunete se bazează pe capacitatea ultrasunetelor de a se propaga în gaze, lichide și solide, respectînd în același timp legile de bază ale refracției și difracției. Dacă undele ultrasonore cad pe suprafața dintre două medii ele se reflectă. În mod similar undele ultrasonore la trecerea printr-o masă metalică omogenă se reflectă cînd în calea lor apare un al doilea mediu, cum ar fi de exemplu: fisurile, fulgii, incluziunile nemetalice etc. Coeficientul de reflexie al energiei sonore depinde de natura mediului prin care este propagată această energie, de caracterul și dimensiunile obstacolului din calea fascicului și de lungimea undelor ultrasonore.

Principalele metode de defectoscopie ultrasonică, folosite în cadrul secțiilor de tratament termic sînt: metoda propagării directe a vibrațiilor ultrasonore, numită și metoda umbrei sau transparenței, metoda prin rezonanță și metoda prin reflexie sau de impuls.



Metoda propagării directe constă în trimiterea printr-un emițător, în piesa ce se examinează, a unui fascicul ultrasonor. Pe fața opusă a piesei receptorul primește și transformă energia ultrasonică în energie electrică. Energia astfel transformată este amplificată și trimisă la indicatorul aparatului.

Când piesele sînt omogene ultrasunetele trec prin piesă și ies în partea opusă aproape în aceeași cantitate în care au intrat. Dacă în interiorul piesei există discontinuități, ultrasunetele se împrăștiă și în receptorul situat în partea opusă a piesei ajung în cantități mai reduse. În acest caz se poate pune în evidență atât locul de amplasare a defectului cît și mărimea aproximativă a acestuia. În fig. 300 este reprezentată schema propagării directe a vibrațiilor ultrasonore printr-un semifabricat.

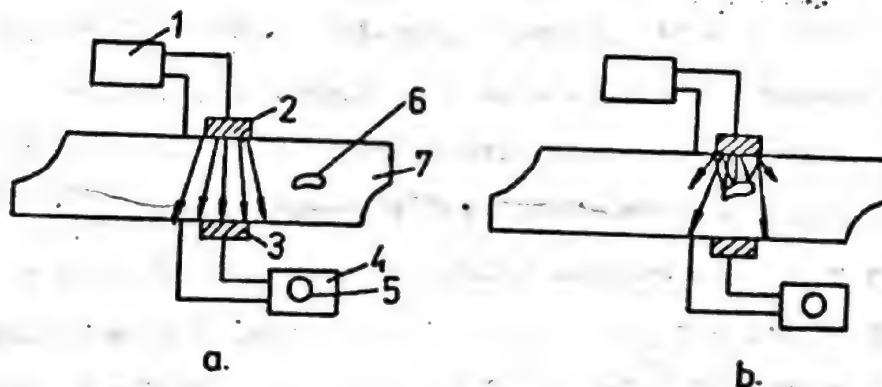


Fig. 300. Schema controlului ultrasonic bazat pe principiul propagării directe a vibrațiilor ultrasonice  
1-generator de ultrasunete; 2-emițător; 3-receptor; 4-amplificator; 5-indicator.

Pentru o mai bună aderență între emițător și piesă precum și între piesă și receptor suprafața de contact trebuie să fie netedă, curată (lipsită de oxizi) și unsă cu ulei mineral.

Metoda rezonanței permite descoperirea defectelor interne ale pieselor, precum măsurarea grosimii unor pereți care au o singură parte accesibilă. În principiu această metodă se bazează pe reacția



cuartului emițător atunci când unda reflectată are o amplitudine apropiată de aceea a undei incidente. Această reacție este sensibilă în mod special când unda reflectată intră în fază cu unda incidentă, atunci când grosimea peretelui cercetat sau distanța  $l$  între suprafață și defect este egală cu un număr întreg de jumătăți de lungime de undă, conform relației:

$$l = k \frac{\lambda}{2} \quad (9.2)$$

Pentru înregistrarea rezonanțelor obținute se utilizează un oscilograf catodic, citirea făcându-se direct pe scala gradată a ecranului apreciindu-se distanța până la defect sau grosimea peretelui cu o precizie de 0,1%.

Metoda reflexiei se bazează pe măsurarea timpului necesar undelor ultrasonice de a parcurge, dus-întors, spațiul dintre pereții piesei. Dacă în piesă există un defect, care constituie un obstacol în calea trecerii undelor ultrasonore acestea se reflectă parțial înainte de a ajunge în partea opusă a piesei și pe ecranul de semnalizare a defectoscopului ultrasonic ce lucrează prin reflexie va apărea un semnal sub forma unui vîrf. Raportul dintre distanța de la semnalul apărut până la semnalul inițial și cel final este egal cu raportul dintre distanța de la defect la suprafața piesei.

### 9.1.3. Controlul structurii inițiale

Structura inițială a materialului sau semifabricatului din care este executat sau se execută produsul prezintă importanță pentru tratamentele ulterioare. La o serie întreagă de materiale cum sînt oțelurile rapide, oțelurile de scule, oțelurile de rulmenți, structura de livrare trebuie să corespundă unei recoaceri de globulizare corecte și trebuie să aibă puritatea impusă de standarde.

De asemenea oțelurile cu un procent ridicat de carburi trebuie

să aibă o distribuție corespunzătoare a acestora, să nu fie în giruri, aglomerate pe zone sau în rețea. Verificarea structurii se face prin analiză metalografică la microscopul optic sau prin măsurători de microduritate.

#### 9.1.4. Aspectul exterior

Aspectul exterior se verifică prin observarea cu ochiul liber sau cu lupa și prin măsurarea dimensiunilor cu aparate de măsură. Se urmărește calitatea suprafeței și dimensiunile semifabricatelor. Aceasta întrucât prin tratament termic dimensiunile și calitatea suprafeței se pot modifica. În cadrul controlului privind aspectul exterior al pieselor și semifabricatelor ce urmează a fi tratate se verifică starea suprafeței depistându-se toate defectele de suprafață existente: crăpături transversale și longitudinale, sudurile la rece, porii, suprapunerile de material și alte defecte care se văd cu ochiul liber. Alegerea modului de curățire este condiționată în principal de adâncimea defectelor, densitatea acestora și dimensiunile piesei ce urmează a fi tratată termic.

#### 9.2. Controlul desfășurării procesului tehnologic de tratament termic și termochimic

Activitatea de control a desfășurării procesului tehnologic cuprinde: controlul temperaturii din utilajul de încălzire, controlul duratei de menținere a pieselor, controlul debitelor și presiunilor de gaze, controlul compoziției chimice a mediului în care are loc încălzirea, controlul compoziției chimice a gazelor evacuate, controlul medului de așezare a pieselor în utilajul de încălzire, controlul mediului de răcire, controlul poziției produselor în utilajul de răcire, etc.

##### 9.2.1. Controlul temperaturii

Pentru controlul temperaturii se folosesc aparate de precizie



se se bazează pe dependența dintre temperatură și proprietățile fizice sau chimice ale corpurilor. Pe baza acestor dependente deosebit următoarele grupe de aparate:

- aparate bazate pe dilatarea corpurilor solide, lichide și gaze (termometre metalice, termometre cu lichid și manometrice);
- aparate bazate pe schimbarea rezistenței electrice cu temperatura (termometre cu rezistențe electrice);
- Aparate bazate pe efectul termoelectric (pirometre termoelectrice);
- aparate bazate pe radiația corpurilor (pirometre cu radiație parțială și totală).

Termometrele metalice (cu tijă și cu bilane) se folosesc până la maximum  $1000^{\circ}\text{C}$ . Ele permit indicarea, reglarea și înregistrarea temperaturii.

Termometrele cu lichid pot măsura temperaturi cuprinse între  $-20$  și  $+700^{\circ}\text{C}$ . Se folosesc mai ales pentru mediile de răcire (apă și ulei)

Termometrele manometrice sînt aparate care servesc la măsurarea temperaturii de la  $-200^{\circ}\text{C}$  la  $+550^{\circ}\text{C}$ . Precizia de măsurare este de  $1 - 1,5\%$ . Termometrele cu rezistență electrică sînt larg folosite la o serie de măsurători care cer o precizie mare (exemplu la tratamentul termic al aliajelor neferoase). Domeniul de utilizare este în funcție de materialul din care se confecționează elementul sensibil (termorezistența) conform tabelului 9.1. de mai jos

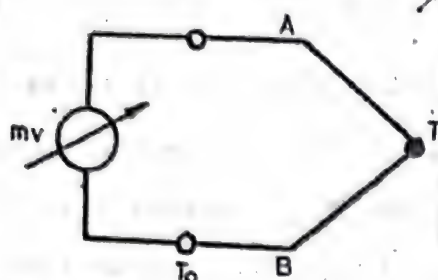
Tabelul 9.1.

Materialul termorezistenței	Domeniul de utilizare de la pînă la		Pirometrele termoelectrice (termocuplele)
Platină (Pt)	- 200	+ 600	fig. 301 sînt cele mai răspîndite în secțiunile de tratamente termice
Nichel (Ni)	- 70	+ 200	
Cupru (Cu)	- 25	+ 150	
Pier (Fe)	0	+ 100	



servind la măsurarea temperaturilor în intervalul  $-100^{\circ}\text{C}$  pînă la  $+1600^{\circ}\text{C}$  sau chiar pînă la  $3000^{\circ}\text{C}$ .

Funcționarea lor se bazează pe efectul termoelectric conform



tabelului 9.2. de mai jos. Pirometrele cu radiație parțială (pirometre cu dispariția filamentului) se folosesc la măsurarea temperaturilor cuprinse între  $600^{\circ}\text{C}$  și  $3000^{\circ}\text{C}$ .

Fig. 301. Termocuplu.

Pirometrele cu radiație totală se

Tabelul 9.2.

Materialele conductorilor termocuplului		F.t.e.m.pt. temperatura maximă din incintă [mmv]	Domeniul de măsurat		
Denumirea	Simbol și polarit.		Limita minimă [°C]	Limita maximă măsurare continuă	Limita maximă măsurare intermitentă
Cupru/constan.	Cu/Const. + -	100Cu/40Ni + 60Cu	34,30 ± 0,60	- 200	400 600
Fier/constan.	Fe/Const. + -	100Fe/40Ni + 60Cu	52,15 ± 0,80	- 200	600 900
Cromel/capel	Cromel/capel + -	90Ni+10Cr/55Cu + 45 Ni	74,90 ± 0,80	0	600 900
Nichel/crom/Ni.	NiCr/Ni + -	84,6Ni+12,4Cr + 3Fe/100Ni	49,02 ± 0,60	0	600 1200
Cromel/alumel	Cromel/alumel + -	90Ni+10Cr/94Ni+2Al+Si + Mn+Fe	48,85 ± 0,60	0	1100 1200
Cărbune/nichel	C/Ni + -	100C (sau grafit)/100 Ni	34,40	0	1100 1200
Platin/rodin/platin	PtRh/Pt + -	90Pt+10Rh/100 Pt	16,7 ± 0,05	0	1300 1600
Volfram/Molibden/Volfram	W/Mo/W + -	75W+25Mo/100 W	6	1250	2600 3000

bazează pe încălzirea unei baterii de termocuplu în urma absorbției căldurii radiate de corpul măsurat. Încălzirea este proporționa-

lă cu puterea de emisie a corpului. Cu aceste aparate se măsoară temperaturi de la  $500^{\circ}\text{C}$  la  $3000^{\circ}\text{C}$ . În afară de aceste aparate de măsurare precisă, temperatura mai poate fi apreciată și prin unele metode empirice cum ar fi:

- măsurarea temperaturilor cu ajutorul culorilor de revenire și a culorilor de incandescență. Aceste metode constau în aprecierea cu ochiul liber a culorii neluminoase sub  $500^{\circ}\text{C}$  și luminoase peste  $500^{\circ}\text{C}$ , sau din frecarea suprafeței metalice încălzite cu o bucată de lemn uscat. Astfel, până la  $200^{\circ}\text{C}$  nu prezintă nici o colorație; de la  $220^{\circ}\text{C}$ - $255^{\circ}\text{C}$  colorația este de galben deschis la galben brun;  $270^{\circ}\text{C}$  - roșu purpuriu;  $285^{\circ}\text{C}$ -violet;  $300^{\circ}\text{C}$ - $400^{\circ}\text{C}$ -albastru închis până la albastru cenușiu;  $500^{\circ}\text{C}$ - $700^{\circ}\text{C}$ -roșu, până la roșu închis;  $800^{\circ}\text{C}$ - $1000^{\circ}\text{C}$ -roșu cireșiu închis, până la roșu cireșiu foarte deschis;  $1100^{\circ}\text{C}$ - $1200^{\circ}\text{C}$ -galben, până la galben foarte deschis;  $1300^{\circ}\text{C}$ - $1500^{\circ}\text{C}$ -alb, până la alb sclipitor. Aprecierea temperaturii cu ajutorul culorilor se face cu o eroare de până la  $50^{\circ}\text{C}$ .

Sub temperatura de  $350^{\circ}\text{C}$ , lemnul aderă la suprafața metalică; între  $350^{\circ}\text{C}$ - $400^{\circ}\text{C}$ -lemnul alunecă; la  $400^{\circ}\text{C}$  lemnul fumegă; la  $425^{\circ}\text{C}$  scinteiază, la  $450^{\circ}\text{C}$  se aprinde, iar la  $500^{\circ}\text{C}$  lemnul arde;

- măsurarea cu ajutorul creioanelor termice (termocrete), care se bazează pe folosirea unor creioane din anumite substanțe care și schimbă culoarea la depășirea unei anumite temperaturi, numită temperatură de viraj. Ele sînt învelite parțial cu o hîrtie care are culoarea de viraj și temperatura respectivă.

#### 9.2.2. Controlul timpului

Pentru controlul duratei de încălzire, menținere, răcire se pot folosi ceasuri semnalizatoare. În cadrul utilajelor mecanizate și automatizate controlul timpului se face după anumite grafice. În ce privește măsurarea celorlalte mărimi (debite, presiuni, puncte



de rouă, grade de disociere) se folosesc diferite aparate cum ar fi: debitmetre, manometre, disociometre, etc.

Controlul desfășurării procesului tehnologic de tratament termic sau controlul interfazic permite depistarea pieselor cu defecte, verificarea funcționării utilajelor, a respectării materialului și a documentației și conduce la micșorarea numărului de defecte.

### 9.2.3. Defecte produse la încălzire și menținere

Aceste defecte se datoresc nerespectării parametrilor principali ce definesc această operație și anume: viteza de încălzire, temperatura de încălzire și durata de menținere precum și modul de încărcare sau așezare a produselor în instalațiile de încălzire.

#### a. Fisurarea la încălzire

Fisurarea la încălzire apare datorită tensiunilor interne termice mari la produsele din oțeluri cu o conductivitate și difuzivitate termică scăzută, cu o configurație geometrică complexă. Atunci când viteza de încălzire este prea mare, fisurile conduc la rebutarea produsului și sînt în general decarburate în timpul menținerii, dacă mediul de încălzire este bogat în  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ . Fisurile pot fi evitate prin încălzirea în trepte, numărul treptelor sau al preîncălzirilor fiind stabilit funcție de oțel și complexitatea produsului.

#### b. Supraîncălzirea

Supraîncălzirea, fig. 3e2, apare la depășirea temperaturii recomandate de încălzire și este însoțită de creșterea puternică a grăunților în special în cazul oțelurilor nealiata. Creșterea grăunților are efecte nefavorabile la răcire întrucît conduce, în funcție de viteza de răcire la structuri grosolane. Dacă răcirea se face rapid structura este formată din martensită fragilă, grosolană



și poate apare pericolul de fisurare. Fisurile apărute în acest caz sînt nedecarburate și conduc la rebutarea produsului. În cazul cînd după răcire structura este grosolană, nu prezintă fisuri, sau prezintă fisuri se pot fi îndepărtate după revenire prin prelucrare, defectul de supraîncălzire poate fi corectat printr-un tratament termic de normalizare.

#### c. Subîncălzirea

Subîncălzirea apare atunci cînd temperatura de tratament termic este prea scăzută. Acest defect nu este un motiv de rebutare a produsului întrucît o reîncălzire la temperatura corespunzătoare face să dispară structura caracteristică subîncălzirii.

#### d. Oxidarea și arderea

Oxidarea, fig. 303 a.b, este de două feluri:

- superficială, cînd se formează un strat de oxid la suprafața pieselor;

- intercristalină, cînd se produce prin pătrunderea oxigenului în spațiile dintre grăunții materialului provocînd oxidarea parțială a acestora.

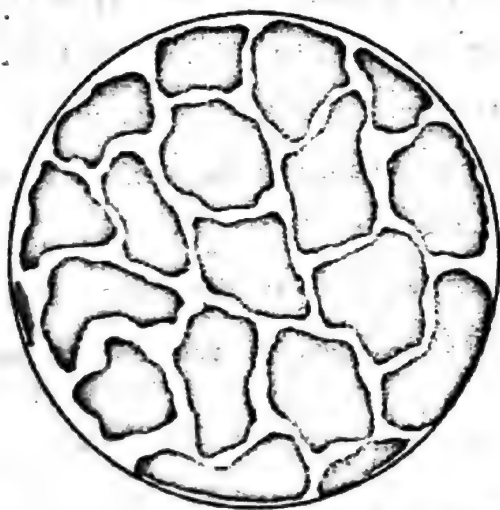


Fig. 302. Structura grosolană a unui oțel carbon cu 0,45% C supraîncălzit la recoacere.

Arderea este un defect iremediabil ce constă în deteriorarea definitivă a materialului în urma încălzirii excesive într-o atmosferă oxidantă. Arderea este o oxidare intercristalină totală a li-

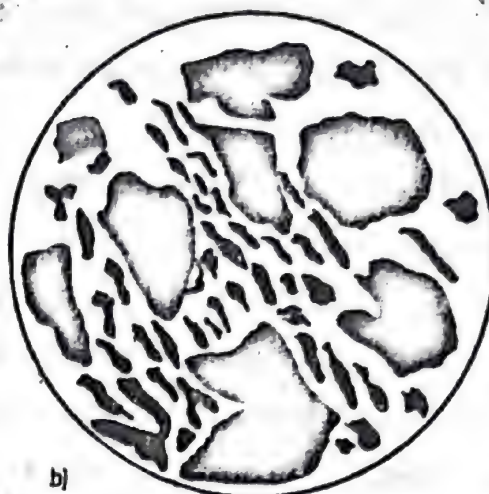
mitelor grăunților.

#### e. Decarburarea

Decarburarea, fig. 304 constă în micșorarea conținutului de



a)



b)

Fig.303 a.b.Structura unui oțel carbon ars (a) și a unui oțel rapid ars (b)

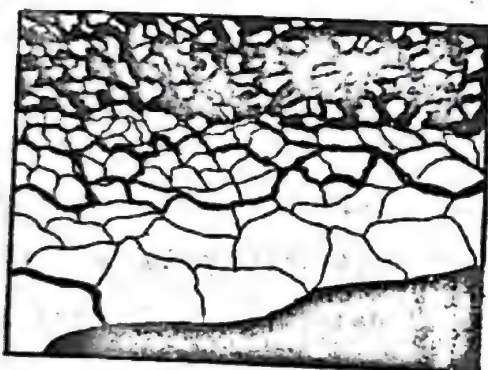


Fig.304. Microstructura unui oțel decarburat.

carbon în stratul superficial al produsului executat din oțel sau fontă, datorită menținerii îndelungate într-o atmosferă bogată în vapori de apă, oxigen,  $\text{CO}_2$  și  $\text{H}_2$ . Dacă nu sînt posibilități de restabilire a conținutului de C la suprafață printr-o eventuală carburare, sau stratul decarburat nu poate fi îndepărtat prin prelucrări mecanice ulterioare, produsele decarburate se rebutază.

#### f. Structura grosolană

Structura grosolană poate fi datorată supraîncălzirii și menținerii îndelungate la temperaturi normale. Din această cauză menținerea pentru călire sau recoacere (cu excepția recoacerii de înmuiere și omogenizare) nu depășește decît cu 1-10 minute durata e-



galizării temperaturii pe secțiunea produsului. Structura grosolană este cauza micșorării proprietăților mecanice de rezistență.

#### g. Pete moi

Petele moi apar în cazul încălzirii pentru călire a oțelurilor hipoeutectoide sub linia GOS (încălzire incompletă).

În timpul răcirii pentru călire, austenita se transformă în martensită iar ferita « rămâne netransformată, ea constituind astfel așa numitele "pete moi". Acest defect se înlătură prin încălzirea materialelor peste linia GOS când toată ferita se transformă în austenită, iar la răcire austenita se transformă în martensită.

#### h. Deformarea și strîmbarea

Deformarea și strîmbarea este determinată de mărimea temperaturii de încălzire și modul de încărcare-amezare a produselor în cuptorul de încălzire. În funcție de acești factori pot apare solicitări mari sub greutatea proprie a încărcăturii însoțite de deformare. Dacă deformarea este mare acest defect poate conduce la rebutarea produsului. Strîmbarea poate fi înlăturată prin îndreptare sau redresare. Deformările pot apare și datorită tensiunilor interne cauzate de încălziri cu viteze mari.

#### i. Supracarburarea

Acest defect apare la tratamentul termic de îmbogățire în C într-un mediu de carburare prea energic și la durate prea mari. După călire, supracarburarea crează fragilitatea stratului atunci când nu se iau măsuri de remediere.

#### j. Fragilitatea stratului nitrurat

Fragilitatea stratului nitrurat apare la tratamentul de nitrurare și este provocat de suprasaturarea stratului cu azot cauzată de o durată prea mare și un grad de disociere prea ridicat.

#### 9.2.4. Defecte produse în procesul răcirii

Modul de răcire după încălzire și răcire definește adesea



galizării temperaturii pe secțiunea produsului. Structura grosolană este cauza micșorării proprietăților mecanice de rezistență.

#### g. Pete noi

Petele noi apar în cazul încălzirii pentru călire a oțelurilor hipoeutectoide sub linia GOS (încălzire incompletă).

În timpul răcirii pentru călire, austenita se transformă în martenită iar ferita rămâne netransformată, ea constituind astfel așa numitele "pete noi". Acest defect se înlătură prin încălzirea materialelor peste linia GOS fiind toată ferita se transformă în austenită, iar la răcire austenita se transformă în martenită.

#### h. Deformarea și strimbarea

Deformarea și strimbarea este determinată de mărimea temperaturii de încălzire și modul de încărcare-amezare a produselor în cuptorul de încălzire. În funcție de acești factori pot apare solicitări mari sub greutatea proprie a încărcăturii însoțite de deformare. Dacă deformarea este mare acest defect poate conduce la rebutarea produsului. Strimbarea poate fi înlăturată prin îndreptare sau redresare. Deformările pot apare și datorită tensiunilor interne cauzate de încălziri cu viteze mari.

#### i. Supracarburarea

Acest defect apare la tratamentul termic de îmbogățire în C într-un mediu de carburare prea energic și la durate prea mari. După călire, supracarburarea crează fragilitatea stratului atunci când nu se iau măsuri de remediere.

#### j. Fragilitatea stratului nitrurat

Fragilitatea stratului nitrurat apare la tratamentul de nitrurare și este provocat de suprasaturarea stratului cu azot cauzată de o durată prea mare și un grad de disociere prea ridicat.

#### 9.2.4. Defecte produse în procesul răcirii

Modal de răcire după încălzire și răcire definește adesea

tipul tratamentului termic aplicat. Ea este în general rapidă și de aceea foarte periculoasă în cazul călirii și lentă dar mai puțin periculoasă în cazul recoacerii.

Defectele cele mai frecvente cauzate de răcire sînt:

a. Fisurarea

Fisurarea, fig. 305, este datorată puternicelor tensiuni interne ce apar la călirea produselor cu o geometrie complexă în medii de călire prea energice. Fisurile de călire sînt nedecarburate și pot fi rezultatul unor supraîncălziri sau unor durate prea lungi de menținere. Pentru evitarea fisurilor se pot aplica procedee de călire întreruptă în trepte sau izotermă.



Fig. 305. Fisură de călire obținută după o călire cu viteză mare într-un oțel rapid.

b. Pete moi

Aceste pete moi sînt regiuni de duritate redusă ca urmare a unor structuri anormale sau neuniforme. Ele apar datorită formării unei pelicule de vapori în jurul piesei la răcire, prezența oxizilor pe suprafața piesei, încălzirea neuniformă pentru călire, decarburarea la oțelurile hipoeutectoide la călire incompletă și la contactul între produse în momentul răcirii. Pot fi înlăturate prin repetarea tratamentului termic.

c. Deformarea și strîmbarea

Aceasta este datorată unui mediu de răcire prea energic sau a unei poziții incorecte a pieselor în timpul răcirii. Produsele lungi se vor căli întotdeauna în poziție verticală.

Cauza deformărilor produse la răcire o constituie tensiunile interne (termice și structurale) de valori mari.



tipul tratamentului termic aplicat. Ea este în general rapidă și de aceea foarte periculoasă în cazul călirii și lentă dar mai puțin periculoasă în cazul recoacerii.

Defectele cele mai frecvente cauzate de răcire sînt:

a. Fisurarea

Fisurarea, fig. 305, este datorată puternicelor tensiuni interne ce apar la călirea produselor cu o geometrie complexă în medii de călire prea energice. Fisurile de călire sînt nedecarburate și pot fi rezultatul unor supraîncălziri sau unor durate prea lungi de menținere. Pentru evitarea fisurilor se pot aplica procedee de călire întreruptă în trepte sau izotermă.

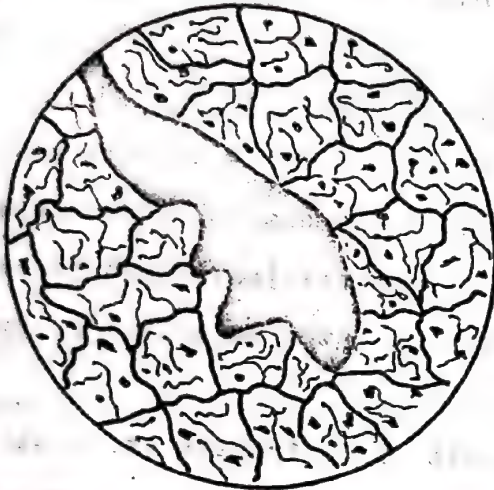


Fig. 305. Fisură de călire obținută după o călire cu viteză mare într-un oțel rapid.

b. Pete moi

Aceste pete moi sînt regiuni de duritate redusă ca urmare a unor structuri anormale sau neuniforme. Ele apar datorită formării unei pelicule de vapori în jurul piesei la răcire, prezența oxizilor pe suprafața piesei, încălzirea neuniformă pentru călire, decarburarea la oțelurile hipoeutectoide la călire incompletă și la contactul între produse în momentul răcirii. Pot fi înlăturate prin repetarea tratamentului termic.

c. Deformarea și strîmbarea

Aceasta este datorată unui mediu de răcire prea energic sau a unei poziții incorecte a pieselor în timpul răcirii. Produsele lungi se vor căli întotdeauna în poziție verticală.

Cauza deformărilor produse la răcire o constituie tensiunile interne (termice și structurale) de valori mari.



d. Fragilitatea la revenire

Fragilitatea la revenire apare în oțelurile slab aliate, cu Cr, V (în care lipsește Mo), atunci când răcirea după revenirea înaltă se face prea lent în intervalul 500-400°C. O tehnologie corectă trebuie să evite apariția defectelor de încălzire și răcire. Controlul interfazic depistează aceste defecte și le îndalțăură la timp.

9.3. Controlul rezultatelor tratamentului termic

Acest control se poate face la toate piesele tratate termic sau prin alegerea uneia sau mai multor piese din lotul de tratament. De asemenea se poate face controlul interfazic (adâncimea de cementare, duritatea după călire, etc.) sau final care se aplică produsele tratate termic în stare finală.

În toate cazurile controlul poate fi distructiv (se distruge parțial sau total produsul) sau nedistructiv când nu este necesar să distruagem produsul.

Metodele de control distructiv se aplică în stare finală produsului fie prin alegerea unei piese reprezentative dintr-un lot, fie pe piese "martor", fie pe anumite apendice lăstate în prelungirea pieselor sau detașate de ele.

Controlul nedistructiv se bazează pe proprietățile fizice ale materialului (conductibilitate electrică și termică), proprietăți magnetice (inducție remanentă, permeabilitate), proprietăți acustice, capilaritate, fluorescență, etc.

9.3.1. Măsurarea durității

Măsurarea durității este un control de bază în secțiile de tratament termic. Duritatea se măsoară cu aparate fixe (Brinell, Vickers, Rockwell) aflate în laboratorul atelierului sau cu aparate mobile (Poldy, Brinell, Shore).

### Metoda Brinell

Se aplică produselor tratate termic prin recoacere, îmbunătățire și călire de punere în soluție.

Principiul acestei metode constă în acțiunea unei forțe  $F$ , asupra piesei într-un timp limitat, prin intermediul unui penetrator cu bilă (din oțel) cu diametrul  $D$ . După apăsarea cu bila, pe piesă rămâne amprenta acesteia cu diametrul  $d$  și adâncimea  $h$ . Valoarea durității Brinell se calculează cu ajutorul relației:

$$HB = \frac{F}{D \cdot h} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (9.3)$$

Calculul durității Brinell se face pe baza tabelelor existente în STAS 1065-66 care indică valoarea acesteia în funcție de diametrul urmei  $d$ , sarcina aplicată  $F$  și gradul de solicitare:

$$K = \frac{F}{D^2} \quad (9.4)$$

Coeficientul de echivalare  $C$  care exprimă rezistența la rupere în funcție de duritatea Brinell ( $C = \frac{R_m}{HB}$ ) are valori diferite, în

funcție de natura materialului ca în tabelul 9.3

Tabelul 9.3

Nr. crt.	Materialul	Starea materialului	C
1	Oțel	Laminat, recopt, forjat	0,30...0,34
	carbon	Normalizat sau îmbunătățit	0,32...0,35
2	Oțel slab	Laminat, recopt, forjat	0,34...0,36
	aliat	Normalizat sau îmbunătățit	0,33...0,36
3	Alame	Turnate recoapte	0,4...0,5
		Lamine ecruisate	0,45...0,55
4	Bronzuri	Turnate e recoapte	0,25...0,35
		Ecrusate	0,45...0,55
5	Aliaje de aluminiu	Turnate	0,30...0,40
		Ecrusate sau îmbătrânite	0,25...0,30

Pentru fontele cenugii turnate se folosește următoarea relație

$$R_m = \frac{HB - 40}{6} \quad (9.5)$$

#### Metoda Vickers

Această metodă se aplică pieselor călite și revenite.

În acest caz penetrantul este un diamant în formă de piramidă, cu secțiunea patrată, cu unghiul diedru la vîrf al fețelor de  $136^\circ$ . Sarcina se menține 10...15 secunde la oțeluri, 30...35 secunde la aliaje neferoase și 120...125 secunde în cazul metalelor moi.

Determinarea durității se face cu relația :

$$HV = 0,1891 \frac{F}{d^2} \quad (9.6)$$

în care:

F = sarcina exprimată, [N]

d = diagonala urmei, [mm]

#### Metoda Rockwell

Se aplică pieselor călite.

La această metodă se folosește penetrator sub formă de con din diamant, cu unghiul la vîrf de  $120^\circ$  (duritatea Rockwell C) și sub formă de bilă din oțel cu diametrul de 1,5875 mm. (duritate Rockwell B).

Determinarea durității constă în aplicarea unei sarcini inițiale  $F_0$ , care asigură contactul intim dintre piesă și penetrator, după aducerea reperului în dreptul acului indicator, se adaugă la sarcina inițială o suprasarcină  $F_1$ . Viteza de aplicare a suprasarcinii este de 0,8...1,0 m/s, iar durata de menținere de 10...15 s. Operația următoare în măsurătoare este îndepărtarea suprasarcinii și menținerea numai a sarcinii inițiale, citindu-se pe cadranul comparatorului duritatea Rockwell.



### Metoda Shore

Această metodă pentru determinarea durității unui material metalic constă în măsurarea înălțimii de ridicare a unui percutor din oțel, de masă dată (2,5 sau 36,2 g), care cade liber și perpendicular pe suprafața produsului de încercare.

Duritatea Shore este înălțimea la care ricoșează percutorul și se exprimă în unități convenționale Shore (ex: 85 HS).

### Metoda Poldy - Brinell

Această metodă constă în imprimarea unei bile de oțel în piesa de încercat și concomitent într-un etalon format dintr-o bară de oțel. Sarcina se aplică prin lovitură cu un ciocan de mină. Bila din oțel are diametrul de  $10 \pm 0,01$  mm și duritatea maximă de 900 HV. Forța de lovire cu ciocanul nu are influență asupra determinării, pentru că bila pătrunde concomitent în piesă și bara etalon. Pe etalon este imprimată duritatea ce o are acesta. După efectuarea încercării se măsoară diametrele amprentelor de pe bara etalon și de pe piesă și cu ajutorul unor tabele se determină duritatea (HB).

Încercările de duritate se folosesc în cazul depistării petelor moi și a subîncălzirii.

Pentru observarea fisurilor provenite de la procesul de încălzire sau răcire se folosesc mai multe metode cum sînt: observarea cu ochiul liber, cu lupa, cu microscopul, prin folosirea unor lichide penetrante (motorină, petrol), sau folosirea unor lichide fluorescente în lumină ultravioletă. În cazul folosirii unui lichid penetrant, suprafața de cercetat se curăță bine, se decapează și se spală, apoi după uscare se acoperă suprafața cu un lichid penetrant. Se așteaptă 5-7 minute, timp în care soluția pătrunde în defecte. Timpul de 7 minute este necesar mai ales pentru controlul defecte-

lor fine, unde soluția pătrunde greu. După aceasta, suprafața se curăță cu o soluție de spălare pe bază de alcool pînă la îndepărtarea culorii roșii a penetrantului. Se pulverizează o soluție albă, dezvoltantă, care absoarbe soluția roșie pătrunsă în defect.

Defectul se conturează colorat în roșu pe un fond alb. La fel se folosesc și lichidele fluorescente în lumină ultravioletă.

### 9.3.2. Controlul structurii după tratamentul termic

Se poate face macroscopic, microscopic și magnetic.

Controlul macroscopic constă în examinarea aspectului structurii pe suprafețe de rupere (casuri) relativ mari, cu ochiul liber sau cu o lupă care mărește pînă la 50:1. Cu ajutorul controlului macroscopic se poate determina grosimea stratului cementat (aproximativ), grosimea stratului călit superficial, microfisurile sau fulgii (în cadrul matrițelor), structura după aspectul rupturii (fină, grosolană), incluziuni, pori, etc.

Controlul microscopic se face pe probe pregătite special la microscopie optice sau electronice. Prin această metodă se pot observa straturile decarburate, faptul dacă materialul a fost supraîncălzit (prin mărimea grăunților), dacă materialul a fost ars (se observă oxidarea intercristalină).

Metoda magnetică se utilizează în special pentru determinarea cantității de austenită reziduală (în special în cazul sculelor din oțel rapid). Aparatul se numește austenitometru magnetic și se bazează pe variația caracteristicilor magnetice (saturația magnetică  $M_s$ , intensitatea cîmpului magnetic  $H$ , inducția magnetică  $B$  și permeabilitatea magnetică maximă  $\mu$ , în funcție de cantitatea de austenită reziduală. Se calculează cu formula:

$$A_{rez} = \frac{M_{se} - M_{sp}}{M_{se}} \cdot 100, [\%] \quad (9.7)$$

$$\text{unde } M_{s_e} = H(\mu_r - 1) \quad (9.8)$$

$$\text{iar } \mu_r = \frac{B}{\mu_0 H} \quad (9.8)$$

$M_{s_e}$  = magnetizarea de saturație a etalonului

$M_{s_p}$  = magnetizarea de saturație a probei.

Inducția și forța coercitivă a cîmpului magnetic se determină pe probe magnetizate la saturație cu ajutorul unui galvanometru balistic. În cazul existenței unor defecte interne, acestea se pot depista cu ajutorul metodelor de control cu ultrasunete. Aceste metode se folosesc la fel ca la capitolul "Recepția materiilor prime".

Acolo unde se impun caracteristici mecanice de rezistență, alungire și reziliență, din piesă sau din probele martor se prelevează epruvete care sînt supuse încercărilor amintite. Toate operațiile de verificare menționate începînd cu intrarea semifabricatului sau a materiei prime și terminînd cu expedierea produselor tratate trebuie efectuate cu mult simț de răspundere pentru ca procesul de tratament termic să conducă la obținerea unor produse de calitate cu un cît mai mic procentaj de rebut.



Cap. X. NORMAREA TEHNICA SI EVIDENTA TECHNOLOGICA  
A OPERATIILOR DE TRATAMENT TERMIC SI  
TERMOCHIMIC

10.1 - Normarea tehnică

Normarea tehnică este o operație de calcul indispensabilă oricărui tratament termic sau termichimic, determinându-se timpul de realizare a produsului și respectiv prețul de cost.

Având în vedere caracterul dinamic al tuturor activităților de producție, este necesară continuarea cercetărilor în acest domeniu precum și corectarea continuă a normativelor în raport cu condițiile specifice, tehnico-organizatorice, cum ar fi:

- creșterea gradului de dotare cu instalații de mare productivitate;

- organizarea locului de muncă și raționalizarea mișcărilor printr-un studiu atent al muncii;
- introducerea în producție a invențiilor și inovațiilor;
- ridicarea calificării personalului din secțiile de tratamente termice.

În vederea calculului corect a normei de timp a tratamentului termic se va efectua un studiu a fiecărei operațiuni ce compune operația de tratament termic.

În cazul în care la aplicarea normelor de muncă nu se pot asigura condițiile privind măsurile tehnice și organizatorice prevăzute în normative, se pot aplica norme de

muncă care să corespundă stadiului de introducere în practică a condițiilor de muncă.

Perioada de introducere a noilor condiții tehnice și organizatorice sau de acomodare a personalului pentru a lucra în condițiile respective este de până la 6 luni și se stabilește în prealabil de către colectivul de conducere operativă a unității cu acordul comitetului sindical.

Pentru calculul normei de timp la operațiile de tratament termic și termochimic, indiferent de utilaje și metode de lucru există o expresie generală:

$$N_T = \frac{T_{pi}}{n} + T_{op} + T_{dt} + t_{on} = \frac{T_{pi}}{n} + \frac{T_f \cdot K_e}{n_1} + t_{e''} + T_{dt} + t_{on}$$

$T_{pi}$  = timpul de pregătire-încheiere, minute/lot ;

$n$  = numărul de piese din lot , buc.;

$T_{op}$  = timpul operativ, minute ;

$T_f$  = timpul ciclului termic (încălzire menținere răcire), minute ;

$K_e$  = coeficient de supraveghere (0,1 pentru aparatură de control automată și 0,11 ÷ 0,3 pentru indicatoare de temperatură) ;

$n_1$  = numărul de bucăți introduse în cuptor ;

$t_{e''}$  = timpul ajutător (introducerea și scoaterea pieselor, transportul în cadrul locului de muncă), minute ;

$T_{dt}$  = timpul de deservire tehnică și organizatorică, minute ;

$t_{on}$  = timpul de odihnă, minute.

Timpul de pregătire-încheiere ( $T_{pi}$ ) cuprinde următoarele elemente de muncă:



muncă care să corespundă stadiului de introducere în practică a condițiilor de muncă.

Perioada de introducere a noilor condiții tehnice și organizatorice sau de acomodare a personalului pentru a lucra în condițiile respective este de până la 6 luni și se stabilește în prealabil de către colectivul de conducere operativă a unității cu acordul comitetului sindical.

Pentru calculul normei de timp la operațiile de tratament termic și termochimic, indiferent de utilaje și metode de lucru există o expresie generală:

$$N_T = \frac{T_{pi}}{n} + T_{op} + T_{dt} + t_{on} = \frac{T_{pi}}{n} + \frac{T_f \cdot K_e}{n_1} + t_a + T_{dt} + t_{on}$$

$T_{pi}$  = timpul de pregătire-încheiere, minute/lot;

$n$  = numărul de piese din lot, buc.

$T_{op}$  = timpul operativ, minute;

$T_f$  = timpul ciclului termic (încălzire menținere răcire), minute;

$K_e$  = coeficient de supraveghere (0,1 pentru aparatură de control automată și 0,11 ÷ 0,3 pentru indicatoare de temperatură);

$n_1$  = numărul de bucăți introduse în cuptor;

$t_a$  = timpul ajutător (introducerea și scoaterea pieselor, transportul în cadrul locului de muncă), minute;

$T_{dt}$  = timpul de deservire tehnică și organizatorică, minute;

$t_{on}$  = timpul de odihnă, minute.

Timpul de pregătire-încheiere ( $T_{pi}$ ) cuprinde următoarele elemente de muncă:



- primirea sarcinii de lucru și a documentației (4 minute);
- primirea materialelor pentru tratamentul termic sau termochimic (3 minute);
- aducerea dispozitivelor la locul de muncă (3 - 5 minute);
- controlul unei piese din lot (3 minute);
- reglarea temperaturii (4 minute);
- predarea lucrării (2 minute).

Acești timpi se acordă separat pentru un lot de piese identice, el se acordă o singură dată pentru întreg lotul.

Timpul de deservire a locului de muncă ( $T_{dt}$ ), este timpul în cursul căruia un executant asigură pe întreaga perioadă a schimbului de muncă, atât menținerea în stare de funcționare a utilajelor, cât și ordinea și curățenia la locul de muncă.

Acest timp cuprinde următoarele elemente de muncă:

- menținerea concentrației băii de săruri (3 % din  $T_{op}$ );
- curățirea dispozitivelor de lucru (2,5 - 3 % din  $T_{op}$ );
- completarea uleiului în băile de călire (2,5 - 5 % din  $T_{op}$ );
- ungerea părților în mișcare a cuptoarelor (2,5 - 4 % din  $T_{op}$ );
- curățirea locului de muncă (4 - 5 % din  $T_{op}$ ).

Timpul de odihnă ( $t_{on}$ ) se calculează în funcție de timpul productiv ( $T_p$ ) întrucât în majoritatea cazurilor timpul operativ este sub 80 % din durata totală a operației

$$T_p = \frac{P_i}{n} + T_{op} + T_{dt} \quad (\text{în minute-om})$$

$T_{pi}$  = timpul de pregătire încheiere (în minute-om);

$T_{op}$  = timpul operativ (în minute-om).

Timpul operativ ( $T_{op}$ ) reprezintă timpul în care se re-

- primirea sarcinii de lucru și a documentației (4 minute);
- primirea materialelor pentru tratamentul termic sau termochimic (3 minute);
- aducerea dispozitivelor la locul de muncă (3 - 5 minute);
- controlul unei piese din lot (3 minute);
- reglarea temperaturii (4 minute);
- predarea lucrării (2 minute).

Acești timpi se acordă separat pentru un lot de piese identice, el se acordă o singură dată pentru întreg lotul.

Timpul de deservire a locului de muncă ( $T_{dt}$ ), este timpul în cursul căruia un executant asigură pe întreaga perioadă a schimbului de muncă, atât menținerea în stare de funcționare a utilajelor, cât și ordinea și curățenia la locul de muncă.

Acest timp cuprinde următoarele elemente de muncă:

- menținerea concentrației băii de săruri (3 % din  $T_{op}$ );
- curățirea dispozitivelor de lucru (2,5 - 3 % din  $T_{op}$ );
- completarea uleiului în băile de călire (2,5 - 5 % din  $T_{op}$ );
- ungerea părților în mișcare a cuptoarelor (2,5 - 4 % din  $T_{op}$ );
- curățirea locului de muncă (4 - 5 % din  $T_{op}$ ).

Timpul de odihnă ( $t_{on}$ ) se calculează în funcție de timpul productiv ( $T_p$ ) întrucât în majoritatea cazurilor timpul operativ este sub 80 % din durata totală a operației

$$T_p = \frac{P_{di}}{n} + T_{op} + T_{dt} \quad (\text{în minute-om})$$

$T_{pi}$  = timpul de pregătire încheiere (în minute-om);

$T_{op}$  = timpul operativ (în minute-om).

Timpul operativ ( $T_{op}$ ) reprezintă timpul în care se re-



alizează efectiv operația de tratament termic sau termochimic. În cazul tratamentelor termice acest timp depinde de calitatea materialului, dimensiunile piesei și tipul tratamentului termic aplicat. În cazul tratamentelor termochimice depinde de elementul de difuzie și adâncimea stratului de difuzie.

## 10.2 - Evidența tehnologică

Evidența tehnologică este o operație complexă care reunește toate prescripțiile tehnologice necesare realizării produsului.

Completarea planului de operații este etapa finală a proiectării tehnologiei de tratament termic. La întocmirea planului de operații trebuie să se țină seama de următorii factori:

- locul ocupat, în fluxul tehnologic, de operația de tratament termic ;
- încărcarea utilajelor în secția de tratament termic ;
- volumul producției realizate (unicat, serie) ;
- geometria piesei și calitatea materialului.

La alegerea variantei optime de tratament termic de o importanță capitală este cunoașterea comportării aliajului sub influența ciclului de tratament termic.

Varianta de tratament termic este precizată atunci când s-a stabilit succesiunea operațiilor și utilajele necesare.

Omologarea unei tehnologii confirmă valabilitatea variantei tehnologice adoptate și a tuturor prescripțiilor înscrise în planul de operații. Omologarea unei tehnologii se realizează prin sacrificarea unor produse analizându-se structura și proprietățile mecanice obținute după aplicarea tratamentului termic.



Tehnologia omologată se transcrie în planul de operații și devine obligatorie pentru secția de tratamente termice.

Planul de operații precizează pe de o parte toate datele de identificare a produsului (greutate, material, dimensiuni și proprietățile finale cerute), iar pe de altă parte modul cum pot fi obținute proprietățile finale ale piesei.

Planul de operații conține succesiunea operațiilor, ciclul de tratament, timpi de lucru pentru operația de tratament termic și operațiile auxiliare, desenul produsului și cotele ce trebuiesc controlate după tratament termic. Nerespectarea planului de operații constituie o abatere de la disciplina tehnologică și se sancționează prin imputarea pagubelor produse.

Pentru întărirea răspunderilor în îndeplinirea sarcinilor, planul de operații cuprinde și numele celor care răspund de efectuarea operațiilor de tratament termic.

Un model de plan de operații este prezentat în fișa tehnologică următoare.



Cap.XI. TEHNICA SECURITATII MUNCII IN ATELIERELE  
DE TRATAMENTE TERMICE SI TERMOCHIMICE

11.1. Accidente de muncă. Factorii care pot provoca accidente de muncă

Accidentul de muncă constituie un eveniment ce survine în timpul muncii și poate avea consecințe dăunătoare atât pentru om cât și pentru aparatura și instalația cu care lucrează.

Cauzele care provoacă accidente au la bază o serie de factori. Aceștia se împart în:

- factori tehnici
- factori umani.

Ponderea cea mai mare o au factorii umani, cca 80% din accidente se datoresc acestora. De aceea, această categorie de factori a fost supusă mai acut studiului, astfel că în construcția mașinilor, instalațiilor și a dispozitivelor de siguranță se țină seama și de cerințele psihologice ale omului, de posibilitățile lui de observare și detectare a semnalelor, elementele care ușurează efectuarea mișcărilor.

În urma studierii cauzelor care au generat accidente, s-a observat că există unii oameni ai muncii care au mai multe accidente decât alții și deci anumite particularități psihice îi fac să comită accidente.

Cea mai importantă particularitate psihică o reprezintă lipsa echilibrului emotiv. Pierderea cu ușurință a stăpînirii de sine, intrarea în panică, starea de derută este o cauză a accidentelor de muncă.

În cazul activităților periculoase, mare importanță prezintă rapiditatea de reacție la diverse semnale.



Asupra accidentelor influențează de asemeni inteligența și pregătirea profesională a omului. Astfel, producerea accidentelor va fi mai mică la persoanele cu o calificare superioară și mai mare la cele cu nivel redus de calificare.

#### 11.1.2. Rolul protecției muncii

În țara noastră, problema tehnicii și securității muncii face parte integrantă din procesul de producție și este considerată o problemă de stat.

Un rol important revine organelor și organizațiilor sindicale. Acestea exercită o acțiune educativă pentru crearea unei puternice opinii de masă care să condamne nepăsarea față de prescripțiile și normele de securitate a muncii.

Pentru ca fiecare om al muncii să cunoască folosirea echipamentului și dispozitivelor de protecție, există diferite modalități de popularizare cum ar fi: afișe, filme, conferințe, pliante, broșuri.

În scopul formării unor cadre corespunzătoare, se efectuează examinarea aptitudinilor și a trăsăturilor globale ale personalității oamenilor muncii, se fac teste potrivit cu diversele nivele de complexitate a locurilor de muncă din cadrul profesiei.

#### 11.1.3. Influența factorilor psihologici

În scopul relevării momentelor critice care preced accidente survenite ca urmare a influenței factorilor psihologici, s-au construit aparate speciale de modelare a activității de muncă (simulatoare) cu care se pot reproduce situațiile critice. Prevenirea accidentelor are drept scop, pe lângă evitarea unor pagube materiale, adesea foarte importante, și apărarea celui mai important capital - omul.

#### 11.1.4. Imbolnăvirile profesionale

Factorii care cauzează boli profesionale se pot clasifica în:

- fizici
- chimici
- biologici
- suprasolicitarea unor organe in timpul muncii.

In cadrul industriei siderurgice și a celei constructoare de mașini se folosesc unele substanțe chimice cu acțiune dăunătoare asupra organismului. Acestea au făcut obiectul numeroaselor cercetări medicale pentru elaborarea de metode în scopul combaterii îmbolnăvirilor profesionale.

Cercetările medicale au stabilit concentrațiile maxime de substanțe dăunătoare admisibile în atmosferă.

Formele incipiente ale intoxicațiilor cu substanțe chimice aduc o scădere considerabilă a randamentului și o stare de oboseală precoce, fapt care determină sporirea frecvenței și gravității accidentelor de muncă.

Printre substanțele care în concentrație mai mare au efect nociv, se menționează: sulfura de carbon, hidrogenul sulfurat, hidrocarburi aromatice, acidul clorhidric, acidul azotic, diverși solvenți organici.

Intoxicațiile se manifestă prin: dureri de cap, oboseală, tulburări de atenție, iritabilitate, euforie. În toate cazurile, cel în cauză trebuie supus unui examen medical pentru a se vedea dacă este vorba de o sensibilitate la o anumită substanță sau de intoxicație.

Pătrunderea substanțelor în organism se face prin:

- respirație;
- prin piele.

11.1.5. Oboseala în muncă și combaterea ei  
Oboseala influențează atât asupra producerii accidentelor de

muncă cît și asupra îmbolnăvirilor profesionale deoarece:

- scade receptivitatea organismului și promptitudinea în acțiuni ;
- scade rezistența organismului la acțiunea toxicității ;
- favorizează apariția emoțiilor, deci pierderea controlului în situații critice.

Curba accidentelor arată influența oboselii, deoarece se constată că cele mai multe se produc între orele 11 și 15.

Măsuri pentru combaterea oboselii:

- organizarea corectă a muncii și a locului de muncă ;
- folosirea rațională a timpului liber atît pentru somn cît și pentru odihnă activă (este indicat sportul în aer liber).

#### 11.1.6. Măsuri tehnice de igienă

În toate laboratoarele și atelierele de tratamente termice se iau măsuri pentru ca personalul să nu vină în contact cu substanțele toxice. Măsurile ce se iau sînt:

- a) înlocuirea substanțelor cu toxicitate mare cu alte substanțe mai puțin toxice sau netoxice;
- b) automatizarea și mecanizarea proceselor tehnologice, sporirea etanșării și ermetizării utilajelor;
- c) revizuirea periodică a mașinilor și instalațiilor;
- d) folosirea echipamentului de protecție la executarea oricăror lucrări.

În afara măsurilor tehnice se iau măsuri individuale de protecție:

- spălarea frecventă a mâinilor ;
- dușul la sfîrșitul lucrului ;
- întărirea rezistenței organismului printr-o alimentație îngrijită (se introduce special laptele).



În toate cazurile trebuie să se țină seama că unul din factorii care favorizează cel mai mult accidentele este alcoolul.

## 11.2. Măsuri de protecția muncii

### 11.2.1. Condiții generale

Amplasarea atelierelor de tratamente termice se va face în clădiri fără etaje, rezistente sau semirezistente la foc, având cel puțin un perete spre exterior pentru buna ventilație în timpul verii.

În cazul când atelierelor sunt amplasate în clădiri cu mai multe nivele, trebuie să ocupe etajele de sus.

La amplasarea cuptoarelor:

- distanța între rezervorul de călire și cuptor trebuie să fie de 2 m în cazul în care rezervorul este amplasat în fața cuptorului, iar pentru cele amplasate în spate, distanța e de 1,5 m;

- rezervoarele așezate lateral de cuptor trebuie să se afle la distanța de 0,6 m față de acesta;

- la călirea pieselor mari este rațional să se așeze băile în fața cuptorului, astfel încât piesa, după ce a fost scoasă din cuptor să poată fi transportată cu ajutorul macaralei în bazinul de călire;

- distanța între cuptor și pereții atelierului este de 1,5-2 m.

La amplasarea utilajelor:

- reducerea la minim a transporturilor de piese ;

- amplasarea lor se face în încăperi special amenajate pentru ca rezultatele încercărilor să nu fie influențate de praful, vaporii și gazele degajate ;

- la utilajele la care pot rezulta degajări de substanțe chimice se vor lua măsurile prevăzute .

Caracteristic pentru atelierelor de tratamente termice este

faptul că pe lângă căldura și fumul provenite de la cuptoare se produc gaze toxice de la băile de cianurare, băile de călire în săruri topite sau de la băile de plumb. Din această cauză hala de tratamente termice trebuie să fie prevăzută cu ventilație artificială.

Înălțimea de lucru la utilaje va fi de minimum 0,75 m. Numai în cazuri justificate tehnologic se admit înălțimi mai mici.

Pardoselile, gropile utilajelor și canalele instalațiilor vor fi prevăzute cu scurgeri la canalizare.

Se interzice scurgerea apelor industriale uzate, care, în urma reacțiilor chimice pot da naștere la gaze toxice, înainte ca acestea să fie neutralizate.

Pentru evitarea incendiilor în instalațiile care lucrează cu produse inflamabile inodore, controlul concentrației gazului în aer se face cu aparatură specială. Trebuie să existe utilaje și materiale necesare stingerii incendiilor, corespunzătoare substanțelor care se utilizează. (rețea de alimentare cu apă, stingătoare cu spumă, cu bioxid de carbon)

Pardoseala atelierului de tratamente termice trebuie să reziste la temperatura înaltă a pieselor, la acțiunea uleiului, a plumbului topit, a sărurilor din băi, a apei, a cărbunelui. Din aceste cauze, pardoseala se execută din cărămizi de bazalt, plăci ceramice, plăci de fontă.

La călirea superficială a pieselor în cazul încălzirii cu flacără oxiacetilenică se vor folosi ca medii de răcire: apa, soluțiile apoase de săruri și aerul comprimat. Nu este permisă răcirea în ulei deoarece există pericolul de aprindere.

Pentru formarea și aprinderea amestecului de oxigen și acetalenă se folosesc becuri speciale cu mai multe flăcări sau fante,

precum și instalații de călire. Pericolul de explozie și de incendiu al acestui procedeu este favorizat de folosirea gazelor care sînt explozibile și inflamabile.

Condițiile de muncă igienico-sanitare la locul de muncă cu flacără oxiacetilenică se caracterizează prin influența flăcării și vicierea aerului. Aici radiațiile ultraviolete sînt mai slabe, însă vicierea aerului cu oxid de carbon și oxid de azot este mai mare decît la arderea arcului electric.

### 11.2.2. Instalații și utilaje

#### 11.2.2.1. Instalații și utilaje de tratament termic obișnuit

Cuptoarele electrice vor fi prevăzute cu întrerupătoare pentru întreruperea cu curent în momentul deschiderii ușii pentru reducerea influenței radiației termice.

Părțile metalice ale cuptorului electric vor fi legate la pămînt pentru evitarea electrocutărilor.

Controlul stării utilajelor electrice, a prizelor de pămînt și izolarea rețelelor trebuie efectuat sistematic, înlăturîndu-se imediat toate deranjamentele.

Deservirea și supravegherea instalațiilor și utilajelor de tratament termic se va face numai de oameni care au fost special instruiți deoarece la diferite tratamente termice se lucrează cu o serie de substanțe periculoase (săruri topite pentru călire, cianuri, etc.)

Bazinele de răcire vor fi prevăzute cu grătare pentru scoaterea prin manipularea de la sol a pieselor căzute în timpul răcirii. Bazinele de răcire vor fi prevăzute la partea inferioară cu robinet pentru scurgerea apei acumulate la fund și pentru curățirea bazinului.

Temperatura maximă a uleiului din bazin în timpul răcirii



va fi sub temperatura de autoaprindere a uleiului, cu aparataj de semnalizare acustică sau optică a atingerii temperaturii maxime de lucru în scopul evitării aprinderii și a formării unor cantități excesive de vapori.

Temperatura uleiului în timpul călirii nu trebuie să depășească  $80-85^{\circ}\text{C}$ . În acest sens se iau următoarele măsuri:

- bazinele de călire trebuie prevăzute cu sisteme de răcire a uleiului;
- volumul bazinului de călire trebuie să depășească de 4-5 ori volumul pieselor ce se călesc;
- temperatura de aprindere a uleiului folosit pentru călire -  $180-200^{\circ}\text{C}$ .

Pentru captarea vaporilor formați în timpul lucrului, bazinele de răcire cu ulei vor fi prevăzute cu guri sau hote de aspirație.

Sărurile utilizate pentru formarea băilor de săruri se păstrează în ambalaje ermetic închise în magazine uscate.

Sărurile nu se vor stinge cu ajutorul stingătoarelor cu spumă sau cu nisip umed pentru că pot provoca explozii și împregărea sării topite. În acest scop trebuie să se folosească nisip uscat.

Pentru prevenirea accidentelor la călirea pieselor cu săruri topite de azotați,  $\text{BaCl}_2$ , salpetru, etc., se iau următoarele măsuri:

- adăugarea sărurilor proaspete în baie se va face numai în cantități mici în stare uscată; în caz contrar se produc explozii;
- baia se va umple până la  $3/4$  din capacitatea creuzetului deoarece prin topire sărurile își măresc volumul și se revarsă.

La băile cu azotați, nu este permisă încălzirea acestora la o temperatură mai mare de  $550^{\circ}$ , aceștia descompunându-se la  $550-600^{\circ}\text{C}$ .

În cazul supraîncălzirii, azotații reacționează cu materialul

băii producând explozii. Piese ce se tratează în băi de săruri precum și sculele și dispozitivele ce se folosesc trebuie în mod obligatoriu preîncălzite înainte de cufundare.

Preîncălzirea are loc pînă la 150-200°C.

La băile cu săruri cianuri se vor respecta normele privind lucrul cu cianuri.

Aprinderea cuptoarelor se va face numai de persoane instruite și se va avea în vedere următoarele:

1.- înainte de aprindere se va ventila camera de ardere pentru evacuarea gazelor acumulate;

2.- dacă cuptorul este rece se va face o preîncălzire lentă;

3.- în cazul în care aprinderea nu se produce imediat, se închide admisia combustibilului și se aerisește din nou cuptorul după care operația se repetă.

În timpul încălzirii și descărcării cuptorului, staționarea persoanelor în fața cuptorului este interzisă.

#### 11.2.2.2. Instalații cu atmosferă controlată

Se vor lua măsuri pentru montarea corectă, întreținerea și buna funcționare a aparatelor de măsură și control pentru prevenirea accidentelor de muncă. În timpul lucrărilor de reparații se vor lua măsuri pentru evitarea pătrunderii gazelor în interiorul cuptorului. În acest scop se va demonta complet un tronson al conductei de gaz prevăzut special.

Cuptorul la care se execută reparația se izolează. Atît timp cît durează reparația se va insufla aer curat pentru a se realiza condiții bune de lucru.

Se vor lua măsuri pentru a evita pătrunderea atmosferei protectoare care poate forma amestecuri explozive cu aerul în cuptor înainte ca acesta să atingă 760°C.

Nu mai după ce se atinge această temperatură se va comanda pătrunderea atmosferei protectoare în interiorul cuptorului. În caz contrar se produc explozii cu urmări grave.

11.2.2.3. Instalații de încălzire prin curenți de înaltă frecvență (CIF)

Toate instalațiile CIF care nu se găsesc în încăperi separate, vor fi prevăzute cu îngrădiri speciale și indicatoare de avertizare.

Apa de răcire a elementelor care se găsesc sub tensiune (inductoarele de încălzire, transformatoarele de coborîre, lămpile generatoare) va fi adusă la acele elemente prin furtune de materiale plastice. Aceste furtune vor fi prevăzute la capete cu inele cu racorduri metalice legate la pământ pentru a asigura protecția electrică în cazul ruperii furtunului. Instalația CIF va fi menținută în perfectă stare de curățenie. Curățirea de praf se face cel puțin o dată pe lună și cu scoaterea din funcțiune a instalației.

Controalele periodice și reparațiile de orice fel se vor face după grafic cu respectarea strictă a regulilor prescrise.



A N E X E

## Proprietățile fizice ale metalelor și metaloizilor. ANEXA 1.

Elementul	Greutate atomică	Raza atomică $\text{\AA}$	Rețea cristalină	Parametrii rețelei $\text{\AA}$		
				a	b	c sau unghi, romboedrului
Aluminiu	26,97	1,430	c.f.c.	4,0489	-	-
Arsen	74,94	1,25	romboedrică	4,159	-	53°49'
Argint	107,88	1,443	c.f.c.	4,0856	-	-
Aur	197,2	1,4419	c.f.c.	4,0873	-	-
Bariu	137,36	2,174	c.v.c.	5,025	-	-
Beriliu	9,02	1,1127	h.c.	2,2856	-	3,5843
Bismut	209,00	1,555	romboedrică	4,7456	-	57°14,3'
Bor	10,82	0,990	ortohexagon	17,64	25,0	10,26
Cadmium	112,41	1,489	h.c.	2,978	-	5,617
Calciu	40,08	1,9689	c.f.c.	5,75	-	-
Carbon	12,010	0,77	ortohexagon	4,255	2,46	6,79
			cub.	3,606	-	-
Cobalt	58,94	1,252	h.c.	2,507	-	4,069
Crom	52,01	1,248	c.v.c.	2,8845	-	-
Cupru	63,54	1,277	c.f.c.	3,6152	-	-
Fier	55,85	1,240	c.v.c.	2,8664	-	-
Fosfor	30,98	-	rombică	3,31	4,38	10,50
Galiu	69,72	1,220	ortoromb.f.c.	4,526	4,520	7,660
Iridiu	193,1	1,356	c.f.c.	3,8389	-	-
Litiu	6,940	1,5190	c.v.c.	3,5089	-	-
Magneziu	24,32	1,5982	h.c.	3,2092	-	5,2103
Mangan	54,93	1,598	cub.complexă			
			tetragonală	8,911	-	-
Mercur	200,81	1,502	romboedrică	3,005	-	70°31,7' la -46°C
Molibden	95,95	1,362	c.v.c.	3,146	-	-
Nichel	58,96	1,245	c.f.c.	3,5238	-	-
Osmiu	190,2	1,337	h.c.	2,7353	-	4,3191
Paladiu	106,7	1,3747	c.f.c.	3,8902	-	-
Platină	195,23	1,366	c.f.c.	3,9237	-	-
Plumb	207,21	1,749	c.f.c.	4,9494	-	-
Potasiu	39,096	2,3136	c.v.c.	5,3437	-	-
Radiu	226,05	2,380	-	-	-	-
Reniu	186,31	1,369	h.c.	2,7608	-	4,4582
Rodiu	102,91	1,369	c.f.c.	3,8033	-	-
Sodiu	22,997	1,8577	c.v.c.	4,2906	-	-
Siliciu	28,06	1,175	cubică	5,4282	-	-
Staniu	118,70	1,511	tetr.vol.c.	5,8311	-	4,738

## Proprietățile fizice ale metalelor și metaloizilor. ANEXA 1.

Elementul	Greutate atomică	Raza atomică $\text{\AA}$	Rețea cristalină	Parametrii rețelei $\text{\AA}$		
				a	b	c sau unghiul romboedrului
Aluminiu	26,97	1,430	c.f.c.	4,0489	-	-
Arsen	74,94	1,25	romboedrică	4,159	-	$53^{\circ}49'$
Argint	107,88	1,443	c.f.c.	4,0856	-	-
Aur	197,2	1,4419	c.f.c.	4,0873	-	-
Bariu	137,36	2,174	c.v.c.	5,025	-	-
Beriliu	9,02	1,1127	h.c.	2,2856	-	3,5843
Bismut	209,00	1,555	romboedrică	4,7456	-	$57^{\circ}14,3'$
Bor	10,82	0,990	ortohexagon	17,64	25,0	10,26
Cadmiu	112,41	1,489	h.c.	2,978	-	5,617
Calciu	40,08	1,9689	c.f.c.	5,75	-	-
Carbon	12,010	0,77	ortohexagon	4,255	2,46	6,79
			cub.	3,606	-	-
Cobalt	58,94	1,252	h.c.	2,507	-	4,069
Crom	52,01	1,248	c.v.c.	2,8845	-	-
Cupru	63,54	1,277	c.f.c.	3,6152	-	-
Fier	55,85	1,240	c.v.c.	2,8664	-	-
Fosfor	30,98	-	rombică	3,31	4,38	10,50
Galiu	69,72	1,220	ortoromb.f.c.	4,526	4,520	7,660
Iridiu	193,1	1,356	c.f.c.	3,8389	-	-
Litiu	6,940	1,5190	c.v.c.	3,5089	-	-
Magneziu	24,32	1,5982	h.c.	3,2092	-	5,2103
Mangan	54,93	1,598	cub.complexă tetragonală	8,911	-	-
Mercur	200,81	1,502	romboedrică	3,005	-	$70^{\circ}31,7'$ la $-46^{\circ}\text{C}$
Molibden	95,95	1,362	c.v.c.	3,146	-	-
Nichel	58,96	1,245	c.f.c.	3,5238	-	-
Osmiu	190,2	1,337	h.c.	2,7353	-	4,3191
Paladiu	106,7	1,3747	c.f.c.	3,8902	-	-
Platină	195,23	1,386	c.f.c.	3,9237	-	-
Plumb	207,21	1,749	c.f.c.	4,9494	-	-
Potasiu	39,096	2,3136	c.v.c.	5,3437	-	-
Radiu	226,05	2,380	-	-	-	-
Reniu	186,31	1,369	h.c.	2,7608	-	4,4582
Rodiu	102,91	1,369	c.f.c.	3,8033	-	-
Sodiu	22,997	1,8577	c.v.c.	4,2906	-	-
Siliciu	28,06	1,175	cubică	5,4282	-	-
Staniu	118,70	1,511	tetr.vol.c.	5,2311	-	4,736



ANEXA 1.

(Continuare)

Elementul	Greutate atomică	Raza atomică A	Rețea cristalină	Parametrii rețelei			α
				a	b	c sau unghiul romboedrului	
Stibiu	121,76	1,461	romboedrică	4,5064	-	57°6,5'	
Stronțiu	87,63	2,154	c.f.c.	6,087	-	-	
Sulf	32,06	1,425	rombică	10,48	12,92	24,55	
Tantal	180,88	1,429	c.v.c.	3,3025	-	-	
Titan	47,90	1,457	h.c.	2,958	-	4,738	
Uranu	238,07	1,38	ortorombică	2,8577	5,876	4,954	
Vanadiu	50,95	1,3161	c.v.c.	3,039	-	-	
Wolfram	183,92	1,369	c.v.c.	3,1648	-	-	
Zinc	65,38	1,331	h.c.	2,664	-	4,944	
Zirconiu	91,22	1,583	h.c.	3,229	-	5,133	

## PROPRIETĂȚILE TERMOFIZICE ALE ALIAJELOR

ANEXA 2

MARCA (grupă)	$\rho, \text{kg/m}^3$	$\alpha, 10^6 \text{ grad}^{-1}$				$\lambda, \text{Ecal/m.h.grad}$				$C, \text{kcal/kg grad}$			
		20- 200 °C	20- 400 °C	20- 600 °C	20- 800 °C	200 °C	400 °C	600 °C	800 °C	200 °C	400 °C	600 °C	800 °C
OLC 10	7,870	13,0	13,9	14,7	-	45,8	59,2	51,7	24,5	0,124	0,142	0,188	0,207
OLC 15	7,860	12,5	13,6	14,2	14,9	-	-	-	-	0,126	0,142	0,188	0,208
OLC 20	7,860	12,6	13,6	14,4	12,6	59,9	56,7	50,6	24,3	0,124	0,143	0,179	0,227
OLC 25	7,860	12,3	13,3	14,3	14,6	42,1	56,7	29,0	22,3	0,124	0,143	0,179	0,227
OLC 35	7,850	11,9	13,4	14,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OLC 42	7,845	12,6	14,6	14,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OLC 45	7,845	12,1	13,6	14,6	14,8	41,4	56,0	29,2	21,2	0,125	0,140	0,169	0,149
OLC 50	7,840	12,4	13,3	14,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OLC 60	7,820	11,9	13,5	14,6	14,7	56,0	54,0	52,0	25,0	-	0,156	0,231	0,168
OSG 7	7,810	12,3	13,0	13,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OSG 8	7,810	11,7	13,1	14,2	13,6	58,9	52,8	28,1	20,9	-	-	-	-
OSG 11	7,800	11,2	12,9	14,2	14,4	56,7	55,2	24,1	20,5	0,129	0,145	0,147	0,155
OSG 15	7,800	-	-	-	-	-	-	-	-	0,127	-	-	0,175
15Cr35	7,800	11,6	13,2	14,2	-	54,7	29,7	-	-	-	-	-	-
40Cr10	7,820	13,3	14,8	14,8	-	56,0	53,6	28,1	24,3	-	-	-	-
65Mn10	7,810	11,9	12,9	13,5	-	-	-	-	-	0,116	0,126	0,137	-
35Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Si 12	7,800	12,6	14,1	14,6	-	56,7	56,0	-	-	-	-	-	-
35MoCr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	7,830	12,5	13,6	14,4	-	56,7	54,9	52,0	26,6	0,125	0,143	0,143	0,211
41MoCr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	7,820	12,8	15,6	14,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50VCr11	7,800	12,8	13,9	14,5	-	54,0	-	-	-	-	-	-	-
13CrNi30	7,800	13,0	14,7	15,6	-	-	22,0	-	18,0	-	0,154	-	-
38MoCr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al 02	7,710	12,4	13,5	14,2	-	50,4	-	-	-	-	-	-	-
12Cr130	7,710	10,45	11,40	12,25	12,56	25,8	25,6	21,7	21,8	0,115	0,145	0,186	0,165
40Cr130	7,750	10,0	11,0	12,0	-	50,2	-	-	20,8	-	-	-	-
10Cr11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr 180	7,320	15,5	17,6	18,4	19,0	14,8	16,9	19,8	22,5	0,127	0,136	0,155	0,155
Ti20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al 135	7,850	12,4	21,7	19,9	21,9	14,0	16,6	16,7	20,2	0,135	0,117	0,170	0,170
Al 1	7,800	14,5	14,9	14,9	-	51,2	-	-	-	0,128	-	0,190	-
200Cr120	-	-	-	-	-	26,8	-	21,6	-	0,116	-	0,184	-
RP 3	8,700	11,70	12,2	12,6	12,9	25,4	24,5	22,4	22,5	0,104	0,120	0,140	0,171
DoVCRW85	-	-	-	-	-	19,8	-	-	21,2	0,115	-	0,184	-
45VSiCrW20	-	-	-	-	-	20,2	-	27,4	-	0,121	-	0,211	-
FCPTA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CrN	7,000	11,0	-	-	-	38,0	56,0	54,0	-	0,125	-	-	-
F.m.n.	7,500	11,0	-	-	-	55,0	-	-	-	0,125	-	-	-
F.gn.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Fe+Fe)	7,200	12,0	-	-	-	25,0	-	-	-	0,150	-	-	-
Al+mg	2,650	25,5	-	-	-	126,0	-	-	-	0,25	-	-	-
Al-dg-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Si	2,700	25,0	-	-	-	165,0	-	-	-	0,25	-	-	-
Duralu-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
miniu	2,600	22,5	-	-	-	167,0	225	500	-	0,25	-	-	-
Silumi-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
niu	2,660	19,5	-	-	-	129,0	-	-	-	0,25	-	-	-
Al-Zn-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
mg	2,910	25,5	-	-	-	125,0	-	-	-	0,25	-	-	-
Al-Zn-	3,450	20,5	-	-	-	138,0	145	105	-	0,25	-	-	-
Cu-Zn	8,250	17,0	-	-	-	90,0	-	-	-	0,10	-	-	-
Cu-Or	8,900	17,0	-	-	-	145,0	-	-	-	0,10	-	-	-

pt. alte materiale: Densitatea:  $\rho = 17891 - 0,032T - 0,025C$  ( $\text{kg/m}^3$ )  $T = \text{temp. } [^\circ\text{C}]$ ,  $C = \% \text{ carbon}$

Coef. de dil. lin.  $\alpha_0 = 11,5 + 0,92 \cdot 10^{-5} T - 1,925 C + 0,4 C^2$

Cond. termico: la ot. olate:  $\lambda_0 = 66 - 294Z + 8Z^2$  ( $\text{kcal/mh}^\circ\text{C}$ ),  $Z$  - num. elem. de olatie,  $Z \leq 25$ ;  $\lambda_{200^\circ\text{C}} = 0,95 \lambda_0$

$\lambda_{400^\circ\text{C}} = 0,85 \lambda_0$ ;  $\lambda_{600^\circ\text{C}} = 0,76 \lambda_0$ ;  $\lambda_{800^\circ\text{C}} = 0,70 \lambda_0$ ;  $\lambda_{1000^\circ\text{C}} = 0,65 \lambda_0$

Cond. specific:  $C = a - bT \cdot 10^{-4}$  ( $\text{kcal/kg} \cdot \text{grad}$ ); olaturi  $a = 0,12$ ,  $b = 0,8$ ; olatie Al  $a = 0,23$ ,  $b = 1$ ; olatie Cu  $a = 0,09$ ,  $b = 0,21$



## Transformările alotropice ale metalelor

Metale	Stări	Struc- tură	Temp C	Parametrii reticulari Å				Nr. de co- crist.	Dist. inter- atomic ce (Å)	Densi- tate g/cm <sup>3</sup>
				a	b	c	c/a			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bariu	3aI	c.v.c.	25	5,013	-	-	-	8	4,341	3,58
	3aII	hex.	20	3,901	-	6,155	1,58	6	3,813	-
Beriliu	α Be	hex.	20	2,285	-	3,583	1,568	6	2,225	-
	β Be	c.v.c.	255	2,551	-	-	-	8	2,209	-
Bismut	3I I	rombo- edrică	25	4,736	-	-	α 57°14'3	-	3,071	-
	3I II	hex.	25	4,546	-	11,862	2,609	-	-	-
Calciu	α Ca	c.f.c.	26	5,5884	-	-	-	12	3,9516	-
	β Ca	hex.	-	-	-	-	-	-	-	-
	γ Ca	c.v.c.	467	4,480	-	-	-	8	3,680	-
Ceriu	α Ce	c.f.c.	770K	4,85	-	-	-	12	3,43	-
	α Ce II	c.f.c.	250C	4,82	-	-	-	12	3,43	-
	β Ce	hex.	25	3,673	-	11,802	3,214	6	3,633	6,749
	γ Ce	c.f.c.	757	5,1601	-	-	-	12	3,6487	6,773
Cobalt	α Co	hex.	20	2,507	-	4,070	1,623	6	2,497	-
	β Co	c.f.c.	420	3,544	-	-	-	12	2,506	-
Fier	α Fe	c.v.c.	20	2,8604	-	-	-	8	2,4823	-
	γ Fe	c.f.c.	910	3,6468	-	-	-	12	2,5786	-
	δ Fe	c.v.c.	1401	2,9322	-	-	-	8	2,5393	-
	ε Fe II	hex.	25	2,465	-	4,050	1,643	6	-	-
Hafniu	α Hf	hex.	24	3,1946	-	5,0511	1,5811	6	3,1273	13,28
	β Hf	c.v.c.	1690	3,61	-	-	-	8	-	-
Lantan	α La	hex.	20	3,770	-	12,159	3,2252	6	3,739	6,18
	β La	dublu	-	-	-	-	-	-	-	-
	γ La	c.f.c.	300	5,296	-	-	-	12	3,745	6,155
	δ La	c.v.c.	670	4,26	-	-	-	8	-	5,98
Litiu	α Li	c.f.c.	20	5,17	-	-	-	12	-	-
	β Li	c.f.c.	20	5,17	-	-	-	12	-	-
	γ Li	c.f.c.	20	5,17	-	-	-	12	-	-
Mangan	α Mn	c.v.c.	25	3,51	-	-	-	8	3,0397	0,533
	β Mn	hex.	780K	3,111	-	5,093	1,637	6	3,111	-
	γ Mn	c.f.c.	200K	4,41	-	-	-	12	-	-
	δ Mn	c.f.c.	20	5,17	-	-	-	12	-	-
Mangan	α Mn	c.com- plex	20	8,9131	-	-	-	58	atomi celulă	-
	β Mn	c.com- plex	T.I.	6,3145	-	-	-	20	atomi celulă	-
	γ Mn	c.f.c.	1095	3,8624	-	-	-	12	2,7311	-
	δ Mn	c.v.c.	1134	3,0806	-	-	-	8	3,7153	-
Natriu	α Na	c.v.c.	20	4,2906	-	-	-	8	3,7158	0,966
	β Na	hex.	500K	3,767	-	6,154	1,634	6	3,767	-



## ANEXA 3.

(continuare)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Neptuniu	$\alpha$ Np	orto- romb.	20	6,633	4,723	4,887	-	-	1	2,60	20,45
	$\beta$ Np	tetra- gonal	313	4,897	-	3,388	0,6919	4	2,76	19,36	
	$\gamma$ Np	c.v.c.	600	3,52	-	-	-	8	3,05	18,00	
Poloniu	$\alpha$ Po	cubic simplu	10	3,345	-	-	-	6	3,345	9,32	
	$\beta$ Po	rombo- edric	75	3,359	-	-	$\alpha = 98^{\circ}13'$	-	-	9,51	
Plutoni	$\alpha$ Pu	mono- clinic	21	6,183	4,82	10,963	$\alpha = 101^{\circ}97'$	4	2,78	19,86	
	$\beta$ Pu	mono- clinic	190	9,284	10,463	7,859	$\beta = 92,13^{\circ}$	-	2,79	17,70	
	$\gamma$ Pu	orto- rombic	235	3,1587	5,768	10,162	-	4	3,206	17,13	
	$\delta$ Pu	c.f.c.	320	4,6370	-	-	-	12	3,2788	15,9	
	$\epsilon$ Pu	tetra- gonal	470	3,33	-	4,46	-	-	-	15,99	
	$\zeta$ Pu	c.v.c.	500	3,628	-	-	-	6	3,151	16,48	
Antimoniu	Sb	rombo- edric	25	4,5067	-	-	$\alpha = 57^{\circ}27''$	3	-	6,688	
		hex.	25	4,3084	-	11,247	-	3	2,906	-	
	SbII	cubic	20	2,986	-	-	-	6	2,986	7,66	
	SbIII	simplu hex.	20	3,369	-	5,33	1,58	6	3,299	7,7	
Staniu	$\alpha$ Sn	cubic diam.	20	6,4892	-	-	-	4	2,8099	5,765	
	SnII	tetra- gonal	314	3,81	-	3,48	-	-	-	-	
	$\beta$ Sn	tetra- gonal	25	5,8315	-	3,1814	0,545	6	3,022	7,28	
	SnIII	c.v.c.	20	-	-	-	-	-	-	-	
Stronțiu	$\alpha$ Sr	c.f.c.	25	6,0849	-	-	-	12	4,3027	2,58	
	$\beta$ Sr	hex.	248	4,32	-	7,06	1,635	6	4,32	-	
	$\gamma$ Sr	c.v.c.	614	4,85	-	-	-	8	4,19	-	
	SrII	c.v.c.	20	4,434	-	-	-	8	3,84	-	
Titan	$\alpha$ Ti	hex.	25	2,9511	-	4,6843	1,587	6	2,8963	-	
	$\beta$ Ti	c.v.c.	900	3,3065	-	-	-	8	2,2833	-	
	TiII	h.c.	20	4,625	-	2,813	0,608	-	-	4,581	
Taliu	$\alpha$ Tl	hex.	18	3,4566	-	5,5248	1,598	6	3,4076	-	
	$\beta$ Tl	c.v.c.	262	3,883	-	-	-	8	3,362	-	
Uraniu	$\alpha$ U	orto- rombic	A 20 25	2,0537	5,8695	4,9548	-	2	2,7539	-	
	$\beta$ U	tetra- gonal	720	10,759	-	5,636	0,5257 <sup>com- plex</sup>	-	-	18,11	
	$\gamma$ U	c.v.c.	805	3,524	-	-	-	8	3,052	18,06	
Zirconiu	$\alpha$ Zr	hex.	25	3,2312	-	5,1477	1,5931	6	3,1789	6,565	
	$\beta$ Zr	c.v.c.	867	3,6090	-	-	-	8	3,1255	-	
	ZrII	h.c.	P.2.	5,036	-	3,109	0,617	-	-	6,657	

Module de elasticitate longitudinale și  
transversale pentru metale și aliaje  
metalice tehnice

Metalul	$E_{\max}$ 111	$E_{\min}$ 100	$G_{\max}$ 100	$G_{\min}$ 111
Ag	12000	4400	4600	1970
Al	7600	5800	2850	2300
Au	12000	4400	4360	1930
Cu	20800	6700	7600	2950
Ni	25980	11980	10220	5330
Pb	3900	1080	1450	490
Fe	31000	13200	11600	6000
W	41000	41000	15000	15000
72%Cu+ 28%Zn	18200	5200	7200	4000
Alame	20000	2700	8200	1300
Cu <sub>3</sub> Au	17200	7500	6600	3700
Zn	12630	3560	4970	2780
Cd	8300	2880	2510	1840
Mg	4890	4180	1760	1635

ANEXA 5.

Temperaturi de recristalizare a unor  
metale pure

Metalul	$T_{top}$ [K]	$T_{recr}$ [K]	din $T_{recr} = \alpha T_t$
Au	1336	473	0,35
Ag	1234	473	0,38
Cu	1357	488	0,36
Fe	1803	673	0,37
Ni	1724	870	0,51
W	3673	1473	0,43
Mo	1173	2773	0,42
Al	932	740	0,50
Zn	692	314	0,45
Sn	505	280	0,56
Cd	594	280	0,49
Pb	600	270	0,45
Pt	2037	723	0,35
Mg	923	423	0,43



Gradul de opacitate pentru diferite metale ANEXA 6.

Materialul și starea suprafeței	T °C	
0	1	2
Aluminiu lucios	225 - 575	0,20 - 0,30
Aluminiu rugos	20	0,27
Aluminiu oxidat	230 - 600	0,11 - 0,19
Aluminiu turnat	100 - 500	0,3
Aluminiu în cochilă	100 - 500	0,2
Alamă (laminată, turnată)	20 - 600	0,7
	600 - 800	0,8 - 0,9
Alamă oxidată	100 - 300	0,7 - 0,8
	300 - 800	0,8 - 0,9
Alamă prelucrată	100 - 500	0,15 - 0,30
	500 - 800	0,20 - 0,60
Alamă lustruită	100 - 500	0,1 - 0,2
	500 - 800	0,2 - 0,5
Azbest	20 - 500	0,93 - 0,96
Căramidă din samotă și sticlă noi	600 - 1000	0,75 - 0,86
Căramidă și sticlă folosite	600 - 1000	0,82 - 0,87
Cărbune	125 - 625	0,80
Cupru lustruit (lucios)	80 - 115	0,02 - 0,10
Cupru prelucrat	100 - 500	0,4 - 0,5
	500 - 800	0,5 - 0,7
Cupru oxidat	200 - 600	0,57 - 0,87
Funingine	20 - 370	0,95
Fier lucios	425 - 1020	0,14 - 0,38
Fier oxidat	25 - 1100	0,78 - 0,90
Pontă oxidată	600	0,78
Pontă prelucrată	300	0,21
Oțel lucios și curat	25 - 250	0,04 - 0,07
Oțel turnat	900	0,85
Oțel oxidat	200 - 600	0,80
Oțel zincat lucios	20	0,23
Oțel nichelat	20	0,11
Oțel moale	25 - 1000	0,15 - 0,35
Oțel inoxidabil	25 - 1100	0,25 - 0,6
Tablă din oțel lucioasă	940 - 1100	0,55 - 0,61

\* - Materialele "oxidate" sînt acelea care au mai suportat o încălzire anterioară.

## ANEXA 7.

## Punctele critice și compoziția chimică a oțelurilor

Oțelul	A <sub>c1</sub>	A <sub>c3</sub>	A <sub>r1</sub>	Oțelul	A <sub>c1</sub>	A <sub>c3</sub>	A <sub>r1</sub>
OLC 10	732	860		21MoMnCr12	735	820	680
OLC 15	735	850		13CrNi30	715	820	660
OLC 20	735	840		15CrNi30	715	810	680
OLC 25	735	830		41CrNi12	715	780	680
OLC 35	735	810	690				
OLC 42	730	800					
OLC 45	725	780					
OLC 50	725	775					
OLC 55	725	770					
OLC 60	725	775					
15Cr08	735	850	700	18MoCrNi13	720	800	660
40Cr10	740	800		34MoCrNi15	710	800	650
40BCr10	740	780	670	30MoCrNi20	700	770	640
35Mn16	720	790	680	38MoCrNi109	780	900	740
65Mn10	721	745	670				
18MnCr10	765	840	690				
35MnSi12	750	720	690	51VCr11A	740	770	700
50VCr11	750	790	700	60Si15A	740	770	700
				56Si17A	760	800	690
21TiMnCr12	730	850	690	51Si17A	760	790	690
28TiMnCr12	740	840	690	OLC65A	725	750	690
				OLC55A	725	770	690
				OLC85A	725	-	690
				OLC75A	725	740	690
30MoCr10	740	820					
33MoCr11	740	820	700				
41MoCr11	735	800					
OSC7	730	770	690	97MnCrW14	750	940	710
OSC8	730	-	690	15oVMoCr12o	810	-	770
OSC10	730	800	700	2ooCr12o	800	-	760
OSC11	730	810	700	3oVGrW85	850	-	790
OSC13	730	830	700	55MoCrNi15	730	780	680
117VCro6	740	-	700	45VSiCrW2o	770	840	735
				Rp3	820	-	760

## ANEXA 8.

Coeficienți de difuzie și energii de activare  
a unor elemente în fier

Metal difuzat	Concentrație [% atomice]	Temperatura [°C]	$D$ [cm <sup>2</sup> /s]	$D_0$ [cm <sup>2</sup> /s]	$E$ [kcal/mol]
0	1	2	3	4	5
Autodifuzie:		720 - 900	-	$2,3 \times 10^3$	73,2
Fe $\alpha$	-	810 - 910	-	5,8	59,7
		650 - 850		$5,3 \times 10^2$	67,1
		-		18,0	64,1
Fe $\gamma$	-	970 - 1357	-	5,8	74,2
	-	960 - 1250	-	0,7	68,0
	-		-	0,58	67,9
			-		64,0
Al	-	950 - 1100	-	30,0	56,0
Co	în ( $\alpha$ -Fe)	-	-	$2,6 \times 10^{-6}$	27,4
	în ( $\gamma$ -Fe)			$1,1 \times 10^{-4}$	41,8
Cr	Cr pur	1150	$6,8 \times 10^{-10}$	-	-
		1300	$2,2 - 5,5 \times 10^{-8}$	-	-
	Fe - Cr pulbere	1200	$2 - 8 \times 10^{-9}$	-	-
Cu	Cu pur	800 - 1200	-	3,0	61,0
Li	Li pur	700	pătrunde 2 mm în 4 h		
Mn	0,27	960	$3 \times 10^{-10}$	-	-
	3	1400	$9,6 \times 10^{-8}$		
Mo	0 - 3,1	1200	$2,3 - 3 \times 10^{-9}$	-	-
	0 - 3,5			3,47	5,77
Ni	c 22	1200	$9 \times 10^{-11}$	-	-
S	-	220	$2,1 - 0,8 \times 10^{-13}$	-	-
Sn	Sn pur	950	$9,7 \times 10^{-10}$	-	46
		1000	$2,0 \times 10^{-9}$		
		1050	$3,9 \times 10^{-9}$		
		1100	$7,6 \times 10^{-9}$		



ANEXA 9.

Coefficienții de transmitere a căldurii

în săruri topite  $\alpha_{global} = \alpha_o + \kappa (T_{ut} - T_{top})$

Tipul sării și compoziția		Temperatura de topire $T_{top}$ [°C]	Coefficient de transmisie $\alpha_o \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$	Coefficient de multiplicare: K	Interval de utiliz. [°C] $T_{ut}$
NaNO <sub>2</sub>		284	230 = 200 [Kcal/ m <sup>2</sup> .h.°C)]	1,5	350-600
NaNO <sub>3</sub>		317			350-600
Amestecuri de azotați și azotiți		140 - 220			200-550
	SR 140	140	230 = (200 Kcal/ m <sup>2</sup> .h.°C)]	1,5	160-500
	SR 220	220			300-550
Cloruri simple					
	NaCl	808	230 = (200 Kcal/ m <sup>2</sup> .h.°C)]	1,5	850-1100
	KCl	725			750-1050
Amestecuri de cloruri		500 - 700			550-900
	SC 430	430	290 = 250 [Kcal/ m <sup>2</sup> .h.°C)]	2	400-750
	SC 630	630			700-950
	SC 960	960			1050-1300
Sare neutră (carboneutral)		920	250 [Kcal/ m <sup>2</sup> .h.°C)]	2,5	1000-1300

Valorile raportului:  $\frac{\left(\frac{T_c}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_s}{100}\right)^4}{T_c - T_s}$

ANEXA 10.

Temperatura cuptorului : °C	Temperatura suprafeței corpului T <sub>s</sub> , °C							
	0	200	400	600	700	800	900	1000
600	9,59	13,27	18,70	21,61	-	-	-	-
700	12,72	16,92	23,04	31,55	36,84	-	-	-
800	16,50	21,26	28,01	37,29	42,93	49,50	-	-
900	20,97	26,33	33,76	43,75	49,85	56,20	64,60	-
1000	27,21	32,20	40,35	51,10	57,60	65,0	73,3	82,6
1100	32,25	38,92	47,85	59,40	66,40	74,2	83,0	92,4
1200	39,18	46,58	56,30	68,80	76,30	84,6	93,9	104,1

Durata de transformare pentru unele oțeluri · ANEXA 11.

Oțelul	Temperatura de încălzire [°C]	Timpul de transformare [min.]	Oțelul	Temperatura de încălzire [°C]	Timpul de transformare [min.]
0	1	2	0	1	2
OLC 45 , OLC 60	820-850	1,0	C 120	1070	3,1
OSC 7 , OSC 8	820	1,0	Rp 3	1250	2,3
OSC 10 , OSC 11	800	1,0	Rp 3	1290	1,3
40 Cr 10	850	1,5	Rp 5	1220	0,7

ANEXA 12.

Durata încălzirii și menținerii pieselor  
din oțeluri carbon în funcție de  
grosime

Grosi- mea mm	Călire				Revenire			
	Cuptor cu flacără		Bai de săruri		Cuptor cu flacără		Bai de săruri	
	Incăl- zire	Menți- nere	Incăl- zire	Menți- nere	Incăl- zire	Menți- nere	Incăl- zire	Menți- nere
25	20	5	7	3	25	10	10	5
50	40	10	17	8	50	15	25	6
75	60	15	24	12	75	20	35	9
100	80	20	33	17	100	25	45	12
125	100	25	40	20	125	30	55	14
150	120	30	50	25	150	40	65	15
175	140	35	55	30	175	45	70	20
200	160	40	65	35	200	50	90	20

Allexa 13,

Valorile punctului de rouă ( $t_{H_2O}$  în °C) în funcție de conținutul de vapori de apă în atmosferele controlate.

$t_{H_2O}$	(% $H_2O$ )	$t_{H_2O}$	(% $H_2O$ )	$t_{H_2O}$	(% $H_2O$ )	$t_{H_2O}$	(% $H_2O$ )
+24	2,94	+7	0,99	-6	0,38	-25	0,06
+20	2,30	+5	0,86	-8	0,33	-30	0,035
+18	2,04	+2	0,70	-10	0,28	-40	0,012
+15	1,68	-0	0,60	-12	0,24	-50	0,004
+12	1,38	-2	0,51	-15	0,19	-60	0,001
+10	1,21	-4	0,45	-20	0,11	-70	0,00025



Compoziția, caracteristicile de bază și utilizarea atmosferelor gazease

Tipul atmosferei	Model de obținere			Compoziția		
	Produsul inițial	Produsul de bază	Purificarea suplimentară	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>
H <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O	Hidrogen tehnic	Electroliză	-	-	-	99,5
			Purificare pe catalizator (Pd)	-	-	100
H <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O-N <sub>2</sub>	Amoniac lichid	Disociere	Uscare	-	-	75
		Disociere și ardere parțială ( $\alpha=0,6-0,8$ )	Uscare	-	-	5-25
		Ardere parțială directă	Uscare	-	-	1-5
CO-CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub>	Carbune de lemn	Procesarea aerului prin carbune incins.	Uscare	27-30	1-2	6
			Încalzire re-tortă la 900-1000°C și uscare	33-34	0,2-0,9	3-6
CO-CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O-H <sub>2</sub>	Hidrocarburi gazease	Ardere parțială ( $\alpha=0,6-0,7$ )	Răcire cu apă la +20°	10-15	5-6	15-20
			Răcire în refrigerator la +4°	10-15	5-6	15-20
			Purificare de CO <sub>2</sub> și uscare	10-15	0,1-0,2	15-20
			Purificare de CO <sub>2</sub> și H <sub>2</sub> O pe site moleculare.	10-15	-	15-20
			Purificare de CO <sub>2</sub> și H <sub>2</sub> O pe carbune incins.	20	-	15
		Ardere aproape completă ( $\alpha=0,9-0,95$ )	Răcire la +20°	1,5-2	10-12	2-3
			Purificare de CO <sub>2</sub> și uscare	1,5-2	0,1-0,2	2-3
			Purificare pe site moleculare	1,5-2	-	2-
			Purificare prin carbune incins.	20	0,1-0,2	3-4

## de protecție în tehnologia tratamentelor termice

atmosfera, %				Utilizări specifice la încălziri protectoare
H <sub>2</sub> O	Punct rouă	OH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	
0,5	0	-	-	Recoacerea și normalizarea oțelurilor mai nealiate. Recoacerea oțelurilor inoxidabile înalt aliate. Recoacerea oțelurilor silicioase. Obținerea și sinterizarea pulberilor metalice. Întotdeauna se va urmări uscarea până la rapoarte PH <sub>2</sub> O/PH <sub>2</sub> (puncte de rouă) mai mici decât cele de echilibru cu oțelul protejat.
0,01-0,002	-40	-	-	
0,01-0,002	-60	0,05 NH <sub>3</sub>	25	
0,01-0,002	-20 -60	-	75-95	
0,01-0,002	-20 -60	-	95 - 99	
0,25-0,06	-10 -25	0,5-1,0	65-70	Recoacerea, normalizarea, călirea și re- venirea oț. carbon și slab aliate cu conținut mediu și mare de C. Călirea oțelurilor rapide. Recoacerea de maleabilizare a fonte- lor albe.
0,06	-25	0,5-1,0	60-65	
2,3-3,3	+20 +25	0,5	60-70	
0,8-1,0	+4 +6	0,5	60-70	
0,01 - 0,004	-40 -50	0,5	65-70	
0,002 - 0,001	-60 -70	0,5	65-70	Recoacerea, normalizarea și călirea oțelurilor carbon, slab aliate și rapide. Recoacerea oțelurilor silicioase Recoacerea de maleabilizare a fontelor albe. Nitrurarea oțelurilor și fontelor.
0,25-0,06	-10 -20	0,5	65	
2,3-2,5	+20 +25	-	84-88	
0,01 - 0,004	-40 -50	-	95-97	
0,002 - 0,001	-60 -70	-	95-97	
0,25-0,06	-10 -20	0,5	74-76	Recoacerea de maleabilizare a fontelor albe (fonte maleabile perlitice). Recoacerea cuprului, nichelului și unor aliaje ale acestor metale.

Recoacerea de detensionare la produsele din oțel

Anexa 15

Prelucrarea anterioară	Condițiile de recoacere de detensionare			Prelucrări ulterioare
	Încălzire	Menținere	Răcire	
Turnare	Încălzire lentă până la 550 - 650°C	1 h/25 mm de grosime maximă a secțiunii dar nu mai puțin de 1 h	Cu cuptorul până la 200-300°C, apoi în aer	prelucr. mecanice de degroșare
Sudare	Încălzire lentă până la 600-680°C			
Forjare	Încălzire lentă sau rapidă până la 650 - 700°C			prelucr. de degroșare
Degroșare prin aşchiere	400 + 550°C			prelucr. de prefinişare sau finisare
Finisare prin aşchiere	200 + 120°C	2 ÷ 48	Aer	Finisare sau superfinisare
Deformarea plastică la rece cu necesitatea păstrării parţiale a ecruisării (produse semitari sau tari, arcuri resorte)	350+400°C	10+30 min	Aer	
Călire la martensi- tă cu necesitatea păstrării <i>duritatii indicate</i>	150+200°C	1+2	Aer	prelucr. de finisare
Revenire cu răcire rapidă pentru evitarea fragilităţii de revenire înaltă	400+460°C	1 h/25 mm de grosime	Aer sau cuptor	prelucr. de finisare



Regimul de detensionare al batiurilor  
și pieselor din fontă cenușie

Anexa 16.

Marca	Tempe- ratura [°C]	Vînc [°C/h]	t <sub>ment</sub> (după egali- zare [h])	Viteza de răcire maximă [°C/h]
Pc 150 - Pc 200	520 - 550	Maximum 50°/h	2	50°/h - 200°C
Pc 250 - Pc 300	550 - 575	(pînă la	3	40°/h - 250°C
Pc 350 - Pc 400	575 - 600	400°C )	4	30°/h - 300°C
Fgn380 - 11 și Fgn420 - 12	550 - 575	maximum 50°/h	2	30°/h - 300°C
Fgn450 - 5 și Fgn500 - 7	575 - 600	(pînă la 500°C)	3	apoi în aer
Fgn 600-2,2 și Fgn700 -2	600 - 620		4	

PROPRIETATILE MECANICE ALE OTELURILOR SI FONTELOI ROMANESTI  
SI RECOMANDARI DE TRATAMENTE TERMICE

Marca	Starea L - laminat R - recondi N - normalizat C - calit R - rev. ind R - rev. joi	Proprietati mecanice					Parametrii tratamentului				
		$R_{p0.2}$	$R_m$	$A_5$	KCU	HB	Recoacere		Calire		Revenire
		$\frac{daN}{mm^2}$	$\frac{N}{mm^2}$	%	$\frac{J}{cm^2}$		$T, [^{\circ}C]$	Mediu	$T, [^{\circ}C]$	Mediu	$T, [^{\circ}C]$
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<p>A0 OTELURI DE UZ GENERAL PENTRU CONSTRUCTII SI STRUCTURI SUDATE</p> <p>A1 OTELURI DE UZ GENERAL STAS 500-80; 8185-80; 11082-80 .</p>											
OL 30	L	-	310	20	-	-	Nu se tratează termic				
OL 34	L	-	330-410	31	-	-					
OL 37	L	230	360-440	25	59	-					
OL 42	L	250	410-490	25	59	-					
OL 44	L	270	430-540	25	59	-					
OL 50	L	330	480-500	26	-	-					
OL 52	L	340	510-630	22	59	-					
OL 60	L	330	590-710	16	-	-					
OL 70	L	360	690	11	-	-					
OLT 35	L	230	340	26	-	230					

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
OLT45	L	250	440	21	-	250	Nu se tratează termic				
OLT65	L	370	640	16	-	370					
X42	L	290	410	21	-	-					
X46	L	320	430	20	-	-					
X52	L	360	450	19	-	-					
A-II OTELURI PENTRU ARMAREA BETONULUI STAS 438-80											
OB37	L	255	360	-	-	-	Nu se tratează termic				
PC60	L	430	590	-	-	-					
A-III OTELURI PENTRU PRECONIZAREA BETONULUI STAS 6482-80											
SBP	L	1320-1790	1570-2400	2	-	-	Nu se tratează termic				
SBPA	L	1370	1850	2	-	-					
A-IV OTELURI CU GRANULATIE FINA STAS 9021-83; 11082-80											
OC544	N	285	430-540	23	-	-	Nu se tratează termic				
OC552	N	355	510-610	20	-	-					
OC555	N	420	540-680	19	-	-					
OC558	N	460	570-730	17	-	-					
OC590	N	685	800-930	16	-	-					



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
x56	N	390	430	18	-	-	Nu se tratează termic				
x60	N	410	520	17	-	-					
L42	N	410	670	-	-	-					
A-V OTELURI REZISTENTE LA COROZIUNEA ATMOSFERICA STAS 500-80											
RCA37	L	-	370	-	-	-					
RCB52	L	-	520	-	-	-					
A-VI OTELURI PENTRU APARATE SI RECIPIENTE SUB PRESIUNE LA TEMPERATURI OBISNUITE SI INALTE STAS 2883-80 ; 8184-807 11523-80											
K41	N	245	400-490	22	-	-	890-920	aer	-	-	-
K43	N	275	460-550	20	-	-	890-920	aer	-	-	-
K52	N	315	510-650	19	-	-	880-920	aer	-	-	-
OLT35K	N	230	350-450	26	-	-	900-930	aer	-	-	-
OLT45K	N	280	450-550	21	-	-	870-900	aer	-	-	-
16Mo3	N	285	430-520	19	-	-	910-940	aer	-	-	-
14MoCr4	N	295	430-550	18	-	-	-	-	910-940	ulei	650-720
10CrMo10	-	270	450-600	20	-	-	-	-	900-960	ulei	680-780
20VNiMoCr120	-	600	785-930	14	-	-	-	-	1020-1070	ulei	730-780

- 258 -

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
A-VII OTELURI PENTRU APARATE SI RECIPIENTE SUB PRESIUNE LA TEMP JOASE STAS 2883-80; 11502-80 ; 1382-80														
R37	N	225	360-440	24	27	-	890-920	aer	Nu se cǎlesc					
R44	N	275	430-540	23	27	-	890-920	aer						
09Mn16	N	300	440	21	-	-	890-920	aer						
R52	N	340	510-610	20	27	-	890-920	aer						
Rv52	N	350	510-610	20	35	-	860-920	aer						
R55	N	410	540-680	17	47	-	860-920	aer						
R58	N	430	570-730	17	47	-	860-920	aer						
OLT35R	N	225	340-440	26	-	-	900-930	aer						
OLT45R	N	255	440-540	21	-	-	870-900	aer						
10Ni35	N	340	440-640	20	80	-	830-870	aer						
A-VIII OTELURI PENTRU CONSTRUCTII NAVALE STAS 8324-80														
A	L	235	400-490	22	27	-	910-940	aer	Nu se cǎlesc					
D	L													
E	L													
A32	L	315	470-590	22	31	-	910-940	aer						
D32	L													

- 259 -

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E32	L	315	470-590	22	31	-	910-940	der	Nu se cǎleşc		
A36	L										
D36	L	355	490-620	21	34	-	910-940	der			
E36	L										
B. OTELURI PENTRU CONSTRUCTII MECANICE											
B-I OTELURI DE UZ GENERAL STAS 500-80											
OL30	L	-	310	20	-	-	Nu se tratează termic				
OL32	L	170	310-390	33	-	-					
OL34	L	200	330-410	31	-	-					
OL37	L	230	360-440	25	-	-					
OL42	L	250	410-490	22	-	-					
OL50	L	280	490-610	21	-	-					
OL60	L	320	590-710	16	-	-					
OL70	L	350	690	11	-	-					
B-II OTELURI CARBON DE CALITATE SI ALIATE PENTRU PIESE TRATATE TERMIC STAS 880-80;791-80											

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
OLC10	N Cr	210 390	min. 340 640-790	31 13	- -	131 -	880-900	der	900	apă	180
OLC15	N Cr	230 440	380 740-880	27 12	- -	146 -	880-900	der	890	apă	180
OLC20	N Cr	250 310	410 490-640	25 20	27 -	156 -	870-890	der	890	apă	180
OLC25	N Cr	270 360	450 540-690	24 19	69 -	165 -	860-880	der	880	apă	580
OLC35	N Cr	310 420	530 620-760	21 17	50 -	183 -	680-700	cuptor	860	apă	580
OLC45	N Cr	360 480	610 700-840	17 24	40 -	207 -	680-700	cuptor	840	ulei	590
OLC50	N Cr	370 510	640 740-870	16 13	- -	218 -	680-700	cuptor	830	ulei	-
OLC55	N Cr	390 540	670 780-930	14 12	- -	229 -	680-700	cuptor	820	ulei	580
OLC60	N Cr	400 570	700 830-980	14 11	- -	241 -	680-700	cuptor	820	ulei	580
35Mn16	N Cr	350 510	620 740-930	13 12	39 -	207 -	680-720	cuptor	850	ulei	580
40Mn10	Cr	640	880-1070	12	40	-	620-670	cuptor	850	ulei	600
65Mn10	N	390	735	8	-	-	775-800	cuptor	800	ulei	350
120Mn120	C	315	880	40	-	-	-	-	-	-	-
18MnCr10	Cr	610	880-1180	9	-	207	870-910	cuptor	880	ulei	180
35MnSi12	Cr	760	930-1130	14	59	229	670-720	cuptor	910	ulei	180
15Cr0.8	Cr	460	790-1030	10	-	174	690-720	cuptor	870	ulei	170
32Cr10	Cr	1320	1620-1850	3	30	-	660-710	cuptor	850	ulei	500
40Cr10	Cr	790	900-1180	10	29	217	680-720	cuptor	840	ulei	550



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
408Cr10	Cr	740	880-1080	11	49	217	680-720	cuptor	840	ulei	550
13CrNi30	Cr	740	930-1320	8	-	217	680-720	cuptor	800	ulei	180
18CrNi20	Cr	830	1220-1470	7	-	235	650-700	cuptor	880	ulei	180
41CrNi12	Cr	830	980-1180	11	49	217	680-720	cuptor	820	ulei	550
21TiMnCr12	Cr	880	1180-1520	9	-	217	650-700	cuptor	800	ulei	200
28TiMnCr12	Cr	1180	1370-1720	8	-	229	650-700	cuptor	880	ulei	190
12MoCr10	C	780	1080-1270	7	100	-	650-700	cuptor	850	ulei	190
16MoCr10	C	520	1270-1470	6.5	80	-	650-700	cuptor	850	ulei	190
20MoCr10	C	1020	1340-1570	7.5	70	-	650-700	cuptor	850	ulei	580
25MoCr10	C	785	930-1180	12	70	217	700-730	cuptor	850	ulei	650
33MoCr11	Cr	780	980-1180	12	49	217	600-640	cuptor	850	ulei	580
41MoCr11	Cr	880	1080-1270	10	39	217	700-730	cuptor	840	ulei	580
20MoNi35	Cr	880	1170-1520	10	-	206	650-700	cuptor	840	ulei	180
18MoCrNi13	Cr	830	1080-1420	9	-	217	650-700	cuptor	840	ulei	180
20MoCrNi06	Cr	690	880	11	100	217	650-700	cuptor	840	ulei	180
30MoCrNi20	Cr	1030	1230-1420	9	59	248	650-700	cuptor	850	ulei	560
34MoCrNi15	Cr	980	1180-1370	9	39	245	650-700	cuptor	850	ulei	560
35MoCrNi40	Cr	930	1080-1370	9	60	250	650-700	cuptor	850	ulei	550



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
21MoMnCr12	Cr	980	1180-1520	9	-	217	650-700	cuptor	840	ulei	190
38MoCrAl109	Cr	790	980-1180	10	39	229	710-740	cuptor	940	ulei	530
50VCr11	Cr	880	1080-1270	9	39	235	680-720	cuptor	865	ulei	500
B-III OTELURI PENTRU ASCHIERE PE MASINI UNELTE AUTOMATE STAS 1350-80 ; 11521-80											
AUT12	N Cr	225 390	340-440 590-890	28 12	- 40	235 -	900-925	aer	900	apă	200
AUT 20	L	250	450-600	20	-	168	-	-	850-890	apă	540-680
AUT30	Cr		617-764	14	-	235	650-710	cuptor	850-890	apă	540-680
AUT 40M	N Cr	440 835	690-810 980-1180	13 7	- 20	207 -	830-860	aer	830	ulei	550
DL56Pb	Rc	-	550-700	-	-	200	860	aer			
38Cr05Pb	Cr	784	882-1127	13,5	70	300	850	aer	850	ulei	550
18MnCr10Pb	Cr	610	880-1180	9	-	207	850	aer	850	ulei	550
38MoCrAl109Pb	Cr	520	700-850	17	-	255	850	aer	850	ulei	550
B-IV OTELURI PENTRU RULMENTI STAS 1456-80 ; 11250-80											
RUL 1	R Cr	- -	600-650 2500-3200	- -	- 20-40	170-207 59-60 HRC	760-810	cuptor	810-850	ulei	180
RUL 2	R Cr	- -	600-780 2700-3200	- -	- 3-40	170-217 59-63 HRC	760-810	cuptor	800-840	ulei	180
C. OTELURI INOXIDABILE SI REFRACTARE											
C-I OTELURI INOXIDABILE STAS 11523-80 ; 3583-80											
7AlCr 130	Rc Cr	250 400	450-650 550-700	20 18	- -	130-180 160-210	750-800	cuptor	950-1000	ulei	700-750

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10Cr130	Rc Cc	300 450	550-700 600-750	20 18	170 100	140-180 170-150	750-800	cuplor	950-1000	ulei	700-750
20Cr130	Rc Cc	- 450	750 650-800	- 18	- 80	220 160-230	750-800	cuplor	980-1030	ulei	700-750
20MoCr130	Rc Cc	550 550	800 750-900	14 14	40 40	235 220-270	750-800	cuplor	950-1000	ulei	650-700
30Cr130	Rc Cc	600 600	800 800-950	11 11	- -	235 235-285	750-800	cuplor	950-1000	ulei	650-750
35MoCr165	Rc Cc	600 600	950 800-950	14 14	40 40	285 235-285	750-800	cuplor	980-1030	ulei	650-750
40Cr130	Rc Cc	- -	800 500	- -	- -	225 55HRC	750-800	cuplor	1000-1050	ulei	100-200
90Cr180	Rc Cc	- -	900 -	- -	- -	255 55HRC	800-850	cuplor	1000-1050	ulei	200-300
8Cr170	Rc	270	450-600	20	-	130-170	750-850	aer	-	-	-
8TiCr170	Rc	270	450-600	20	-	130-170	750-850	aer	-	-	-
2TiMoCr180	Rc	300	450-600	30	85	130-170	750-850	aer	-	-	-
22NiCr170	Rc Cc	600 600	950 800-950	14 14	42 42	275 225-275	700-750	cuplor	1000-1050	ulei	630-720
8MoNiCr250	C	490	640-900	25	80	190-230	950-1050	apd	-	-	-
2NiCr185	C	175	450-700	50	120	120-180	-	-	1000-1050	apd	-
10TiNiCr180	C	205	500-750	40	120	130-190	-	-	1020-1070	apd	-
2MoNiCr175	C	195	450-700	45	120	120-180	-	-	1050-1100	apd	-
10TiMoNiCr175	C	225	500-750	40	120	130-190	-	-	1050-1100	apd	-
2NbNiCr250	C	215	490	40	100	-	-	-	1080-1150	apd	-
2CoMoCrNi250	C	245	550	35	120	-	-	-	1080-1150	apd	-

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C-II OTELURI REFRACTARE STAS 11523-80; 3583-80											
10AlCr170	Rc	220	420-620	20	-	190	750-800	aer	-	-	-
10AlCr180	Rc	210	500-700	12	-	210	800-850	aer	-	-	-
10AlCr240	Rc	280	520-720	10	-	225	800-850	aer	-	-	-
12TiNiCr180	C	210	500-750	40	-	190	-	-	1020-1070	apd	-
12NiCr250	C	210	500-750	35	-	190	-	-	1050-1100	apd	-
15SiNiCr200	C	230	500-750	30	-	225	-	-	1050-1100	apd	-
15SiNiCr250	C	230	550-800	30	-	225	-	-	1050-1100	apd	-
12SiCrNi360	C	230	550-800	30	-	225	-	-	1050-1100	apd	-
40SiCrNi360	C	-	-	-	-	220	-	-	1050-1100	apd	-
10TiAlCrNi320	Rc	210	500-750	30	-	190	900-980	aer	1100-1150	apd	-
	C	170	450-700	30	-	190	-	-	-	-	-
20VMoCr120	Cc	490	690-830	17	80	-	-	-	1030-1070	apd	770-770
20VWMoCr120	Cc	590	790-930	14	160	-	-	-	1030-1070	apd	690-700
12TiWNiCr160	C	245	540-690	40	200	-	-	-	1100-1150	apd	-
12NiCoCr210	Cc	345	690-930	20	60	-	-	-	1150-1200	apd	800-840
8NbMoNiCr160	C	215	530-690	35	150	-	-	-	1035-1065	apd	-
8NbVMoNiCr160	C	255	540-740	30	100	-	-	-	1120-1160	apd	-



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
D. OTELURI CU DESTINATIE PRECIZATA											
D-I OTELURI PENTRU ARCURI STAS 795-80 ; 3583-80 ; 11523-80											
OLC55A	Cr	880	1080	6	-	350	680-700	cuptor	830-850	ulei	400-460
OLC65A	Cr	780	980	10	-	360	680-700	cuptor	830-850	ulei	450-510
OLC75A	Cr	880	1080	9	-	400	690-710	cuptor	810-830	ulei	450-510
OLC85A	Cr	980	1130	8	-	400	680-700	cuptor	810-830	ulei	450-510
40Si17A	Cr	980	1180	6	-	375	700-720	cuptor	880-880	ulei	430-490
51Si17A	Cr	1070	1180	6	-	363	700-720	cuptor	860-880	ulei	430-490
51VC11A	Cr	1180	1320	6	-	450	700-720	cuptor	830-850	ulei	450-520
56Si17A	Cr	1080	1270	6	-	350	700-720	cuptor	860-880	ulei	430-490
60Si15A	Cr	1270	1470	6	-	400	700-720	cuptor	850-870	ulei	430-490
65Mn10	Cr	800	1000	8	-	-	600-650	cuptor	800	ulei	350
65Si2WA	Cr	1700	1900	5	-	321	700-720	cuptor	850-870	ulei	420
67Cr5i12A	Cr	1300	1500	5	-	350	700-720	cuptor	850-870	ulei	420-450
D-II OTELURI PENTRU SUPAPE DE MOTOARE TERMICE STAS 11524-80											
45SiCr-90	Cr	685	880	14	-	-	-	-	1000	ulei	720
80SiNiCr-200	Cr	685	880	6	-	-	-	-	1050	ulei	760
80SiNiMoWCr-150	Cr	850	1100	15	-	-	-	-	1050		760

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
53MnMnCr-180	Cr	600	1050	12	-	-	-	-	1200	ulei	760
45WnMnCr-180	Cr	450	900	31	-	-	-	-	1050	ulei	-
33MoCrH	Cr	900	100	13	49	217	-	-	850	ulei	600
D-III OTELURI PENTRU AUSTENITIZARE STAS 9485-80											
A1	L	-	270-410	26	-	-	Nu se tratează termic				
A2	L	260	270-390	30	-	-					
A3	L	240	270-370	34	-	-					
A4	L	-	270-370	30	-	-					
A5	L	220	270-340	36	-	-					
E. OTELURI DE SCULE											
E-I OTELURI CARBON DE SCULE PENTRU PRELUCRARE LA RECE STAS 1700-80											
OSC7	Re Cr	- -	- -	- -	- -	18F 34-60 HRC	680-720	cuptor	800-820	apa	150-300
OSC8	Re Cr	- -	- -	- -	- -	18F 58-62 HRC	680-720	cuptor	780-800	apa	150-300
OSC8M	Re Cr	- -	- -	- -	- -	18F 58-62 HRC	680-720	cuptor	780-800	apa	150-300
OSC10	Re Cr	- -	- -	- -	- -	19F 58-62 HRC	680-720	cuptor	760-780	apa	150-300
OSC11	Re Cr	- -	- -	- -	- -	20F 58-62 HRC	680-720	cuptor	760-780	apa	150-300
OSC13	Re Cr	- -	- -	- -	- -	21F 56-64 HRC	680-720	cuptor	760-780	apa	150-400



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E-II OTELURI ALIATE DE SCULE PENTRU PRELUCRARI LA RECE STAS 3611-80											
117VCr5	Rc Cr	-	-	-	-	220 58-65HRC	710-750	cuptor	810-840	ulei	100-400
90VCr10	Rc Cr	-	-	-	-	228 48-64HRC	720-760	cuptor	760-820	ulei	180-250
90VMn18	Rc Cr	-	-	-	-	242 57-62HRC	690-720	cuptor	750-780	ulei	180-250
105CrW20	Rc Cr	-	-	-	-	228 58-64HRC	760-790	cuptor	800-825	ulei	150-230
91MnCrW14	Rc Cr	-	-	-	-	225 60-64HRC	770-790	cuptor	800-830	ulei	160-220
130W37	Rc Cr	-	-	-	-	233 64-67HRC	750-780	cuptor	790-870	ulei	150-230
150VMoCr120	Rc Cr	-	-	-	-	235 58-64HRC	810-840	cuptor	970-1000	ulei	100-150
200Cr120	Rc Cr	-	-	-	-	260 58-64HRC	810-840	cuptor	930-960	ulei	210-230
E-III OTELURI ALIATE DE SCULE PENTRU PRELUCRARI LA CALD STAS 3611-80											
39VMoCr53	Rc Cr	-	-	-	-	231 38-55HRC	750-790	cuptor	1020-1050	ulei	550-650
40VMoCr52	Rc Cr	-	-	-	-	240 40-53HRC	750-800	cuptor	1000-1040	ulei	550-650
35WMoCr53	Rc Cr	-	-	-	-	240 38-55HRC	750-800	cuptor	1020-1060	ulei	550-650
30VMoCr30	Rc Cr	-	-	-	-	230 34-52HRC	750-800	cuptor	1020-1060	ulei	500-620
55MoCrNi15	Rc Cr	-	-	-	-	240 40-60HRC	680-700	cuptor	840-860	ulei	520-560
57VMoCrNi17	Rc Cr	-	-	-	-	255 40-60HRC	660-700	cuptor	840-860	ulei	500-600
30VCrW82	Rc Cr	-	-	-	-	253 40-55HRC	740-780	cuptor	1075-1125	der	600-620
35SiWCr52	Rc Cr	-	-	-	-	235 40-64HRC	750-800	cuptor	1020-1060	ulei	450-620

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
E-IV OTELURI RAPIDE STAS 7382-80											
Rp1	Rc Cr	-	-	-	-	260 63-66HRC	790-820	cuptor	1230-1300	ulei	560-580
Rp2	Rc Cr	-	-	-	-	280 63-63HRC	790-820	cuptor	1270-1310	ulei	560-580
Rp3	Rc Cr	-	-	-	-	280 63-66HRC	800-830	cuptor	1250-1300	ulei	560-580
Rp5	Rc Cr	-	-	-	-	250 63-66HRC	800-830	cuptor	1190-1230	ulei	540-570
Rp9	Rc Cr	-	-	-	-	280 63-66HRC	800-840	cuptor	1190-1220	ulei	570-590
Rp10	Rc Cr	-	-	-	-	280 63-66HRC	770-840	cuptor	1190-1230	ulei	530-560
E-V OTELURI DE SCULE PENTRU PRELUCRAREA LEMNULUI STAS 1699-80											
OSL4	-	-	-	-	-	-	740-800	cuptor	790-820	opa	200-280
OSL8	-	-	-	-	-	-	730-800	cuptor	760-820	opa	220-280
OSL10	-	-	-	-	-	-	710-780	cuptor	760-820	opa	200-240
OSL4Cr	-	-	-	-	-	-	750-780	cuptor	980-1020	ulei	100-420
OSL5Cr	-	-	-	-	-	-	750-780	cuptor	980-1020	ulei	100-420
OSL6Cr	-	-	-	-	-	-	770-810	cuptor	980-1020	ulei	100-420
F. OTELURI TURNATE											
F-I OTEL TURNAT DE UZ GENERAL STAS 600-82											
OT400	Rc	200	390	20	50	110	830-890	der	-	-	-
OT450	Rc	240	440	18	60	124	830-890	der	-	-	-

- 270 -

- 272 -



- 272 -

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T100 M <sub>6</sub> M <sub>11</sub> 130	T	245-350	700-900	40-55	20-30	100-200	-	-	1050-1150	apd	-
T10 M <sub>12</sub> 140	T										
G. FONTE											
G-I FONTE CENUSII STAS 568-82											
Fe 100	T	-	100	-	-	100-150	850-950	cuplor	850-890	ulei	500
Fe 150	T	-	150	-	-	140-190					
Fe 200	T	-	200	-	-	170-210					
Fe 250	T	-	250	-	-	180-240					
Fe 300	T	-	300	-	-	200-260					
Fe 350	T	-	350	-	-	210-280					
Fe 400	T	-	400	-	-	230-300					
G-II FONTE CU GRAFIT NODULAR STAS 6071-82											
Fgn 310-14	T	230	370	14	16	140-180	900-950	cuplor	880-900	ulei	600
Fgn 400-12	T	250	400	12	-	150-200					
Fgn 450-5	T	320	450	5	-	160-220					
Fgn 500-7	T	350	500	7	-	170-240					
Fgn 600-2	T	400	600	2	-	210-280					
Fgn 700-2	T	450	700	2	-	230-300					
Fgn 800-2	T	500	800	2	-	240-310					

- 273 -

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
G-III FONTE MALEABILE STAS 569-79											
Fmd 350	T	-	350	4	-	240	900	hemo- lită	850-890	ulei	600
Fmd 400	T	220	400	5	-	220					
Fmn 300	T	-	300	6	-	160	950-1000	nirip			
Fmn 320	T	170	320	8	-	180					
Fmn 350	T	170	350	10	-	150					
Fmn 370	T	130	370	12	-	150					
Fmp 450	T	260	450	6	-	220	1000	hemo- lită			
Fmp 500	T	300	500	5	-	240					
Fmp 550	T	330	550	4	-	260					
Fmp 600	T	360	600	3	-	270					
Fmp 650	T	330	650	3	-	270					
Fmp 700	T	500	700	2	-	280					



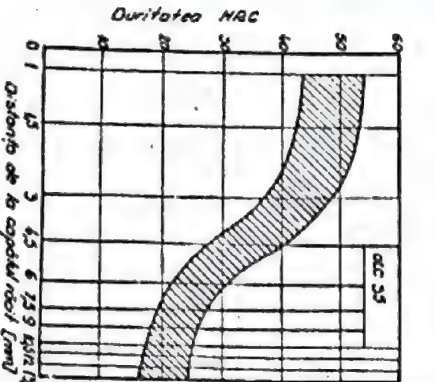
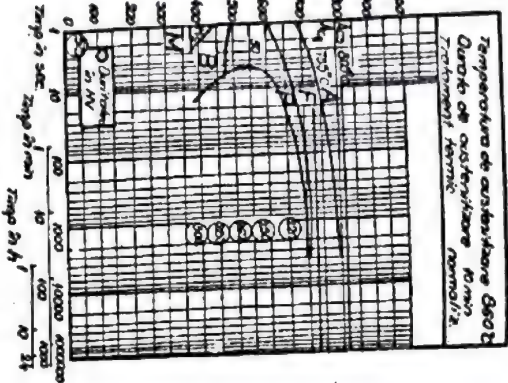
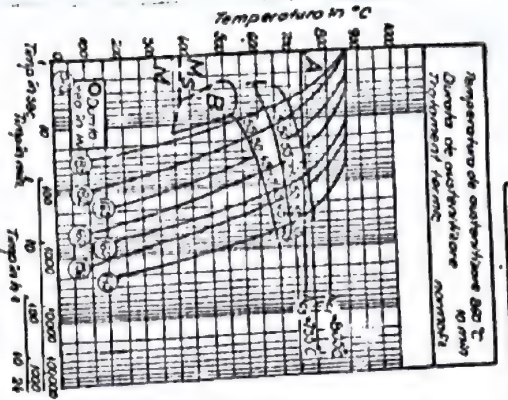
- 274 -

# OLC35 STAS 880-80

C	S	Mn
0,35	0,35	0,65

Recocer	Colire	Ren
T(°C)	T(°C)	T(°C)
Mediu	Mediu	Mediu
630-700	cupor	880
		opd
		580



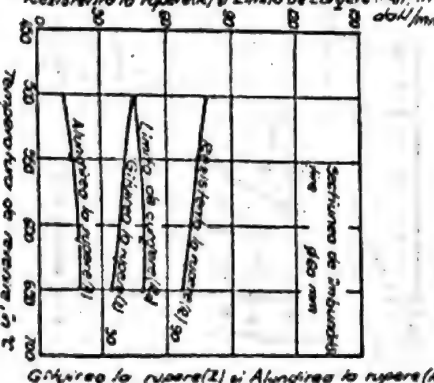
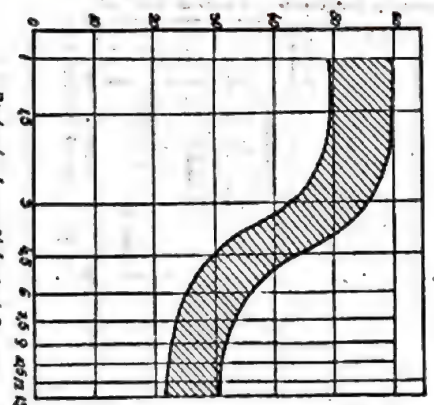
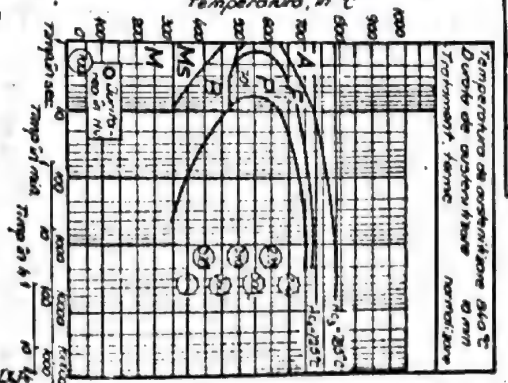
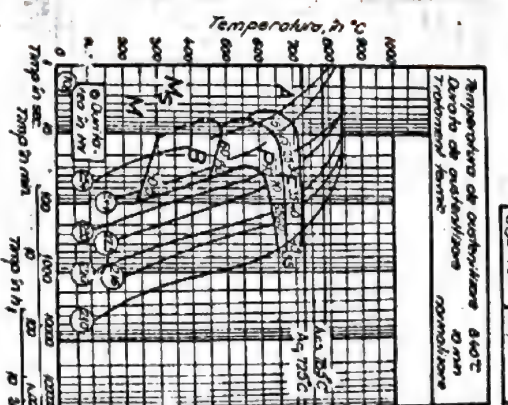
- 275 -

# OLC45 STAS 880-80

C	S	Mn
0,45	0,25	0,75

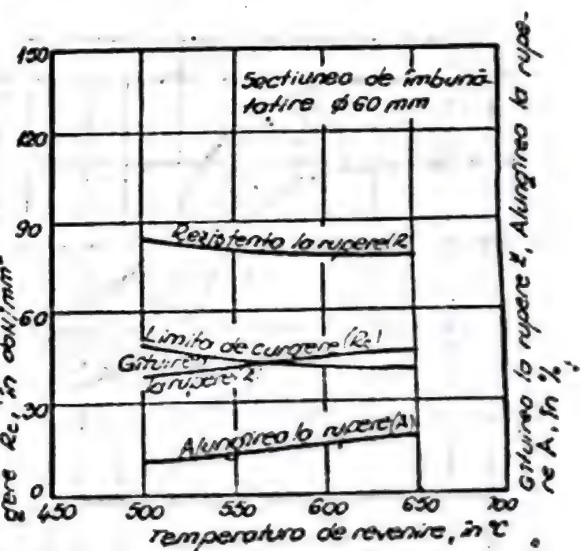
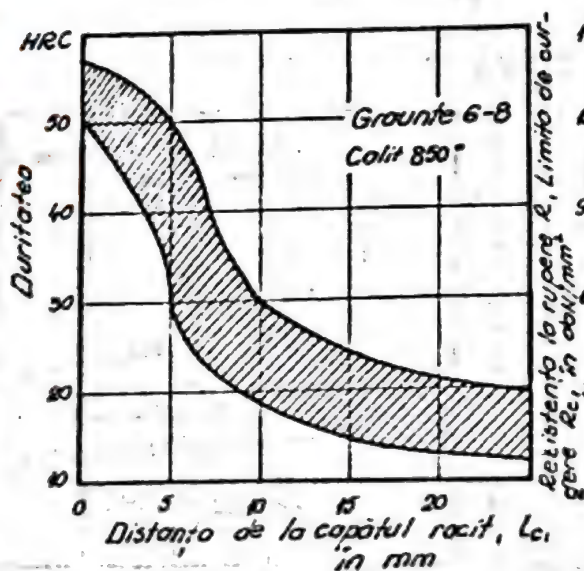
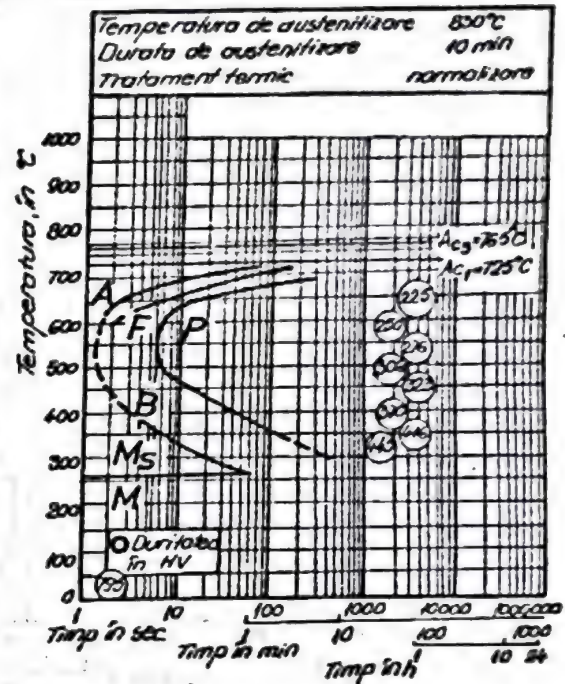
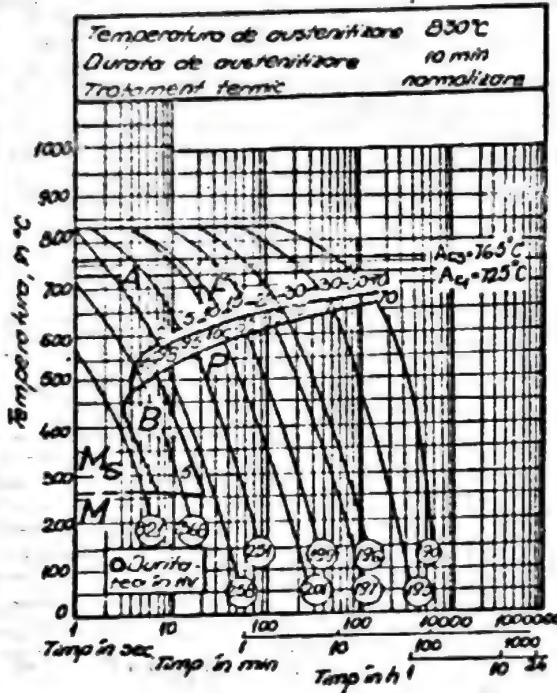
Recocer	Colire	Ren
T(°C)	T(°C)	T(°C)
Mediu	Mediu	Mediu
630-700	cupor	880
		opd
		590



# OLC55 STAS 880-80

C	Si	Mn
0,35	0,25	0,15

Recoacere		Calire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
680-700	cuptor	820	ulei	580



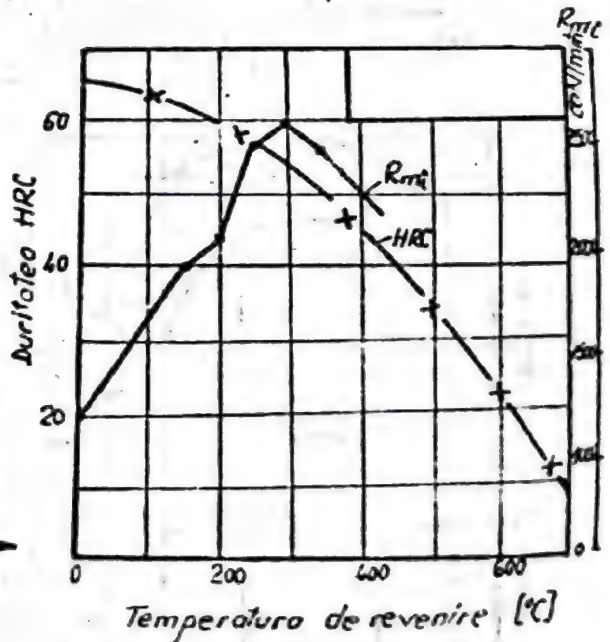
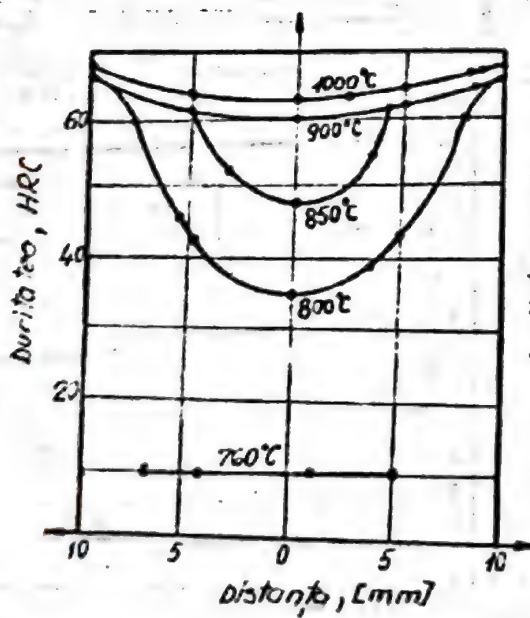
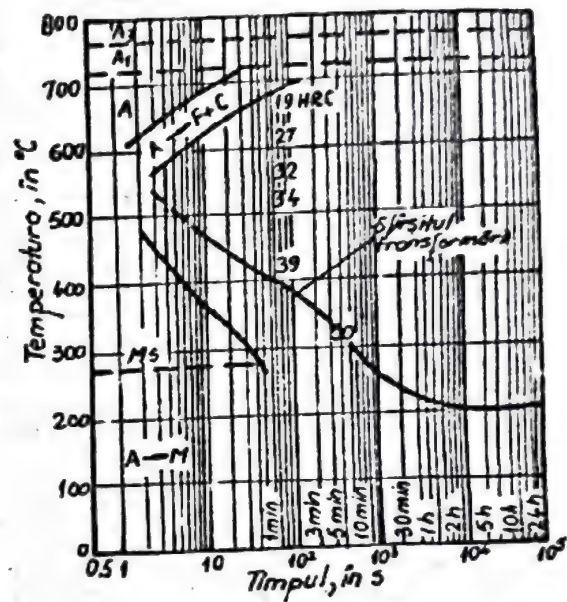






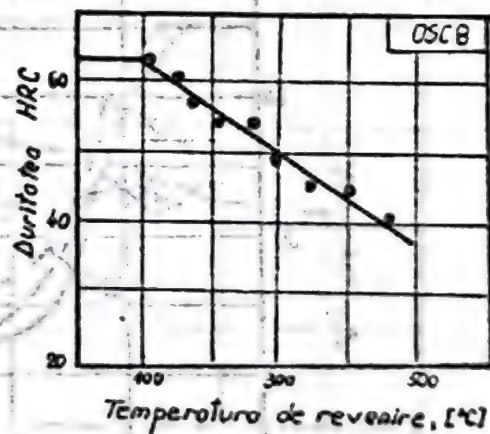
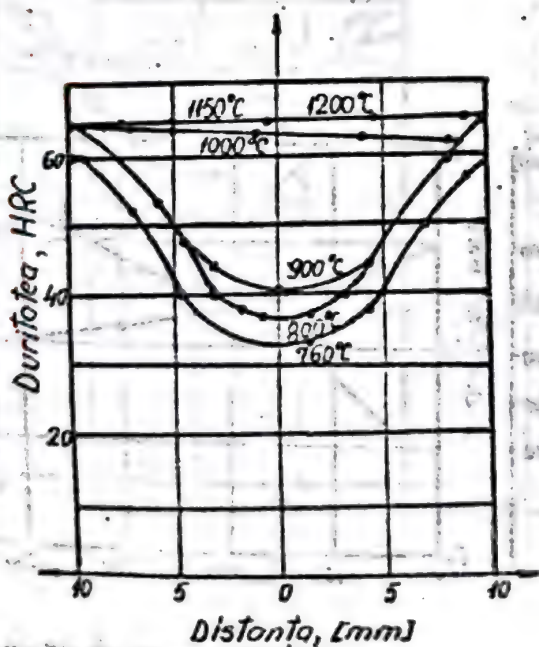
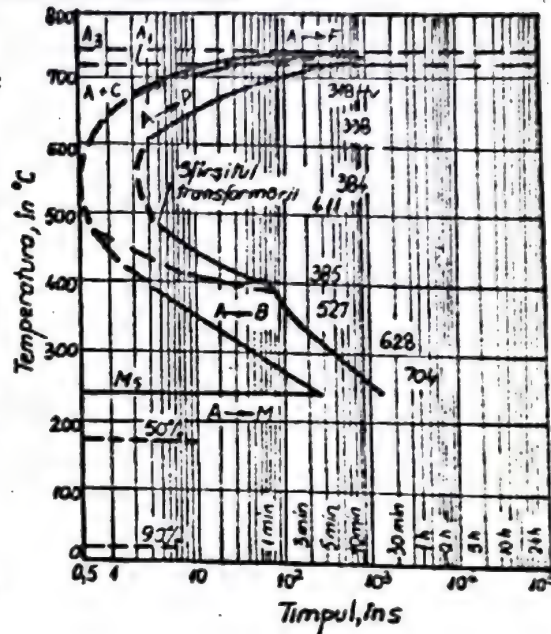
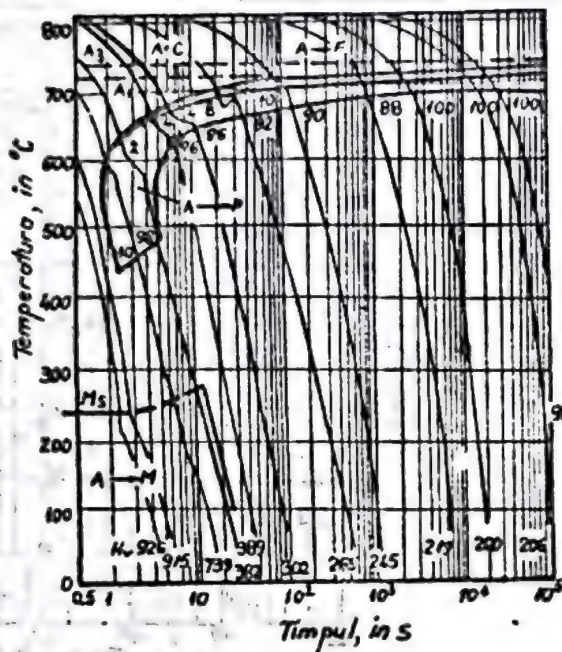
# OSC7 STAS 1700-80

C	Si	Mn	Cr	Ni
0,63	0,19	0,39	0,16	0,19
Recondere		Calire		Rev
T(°C)	Mediu	T(°C)	Mediu	T(°C)
680-720	cuptor	800-820	apu	150-300



OSC 8 STAS 1700-80

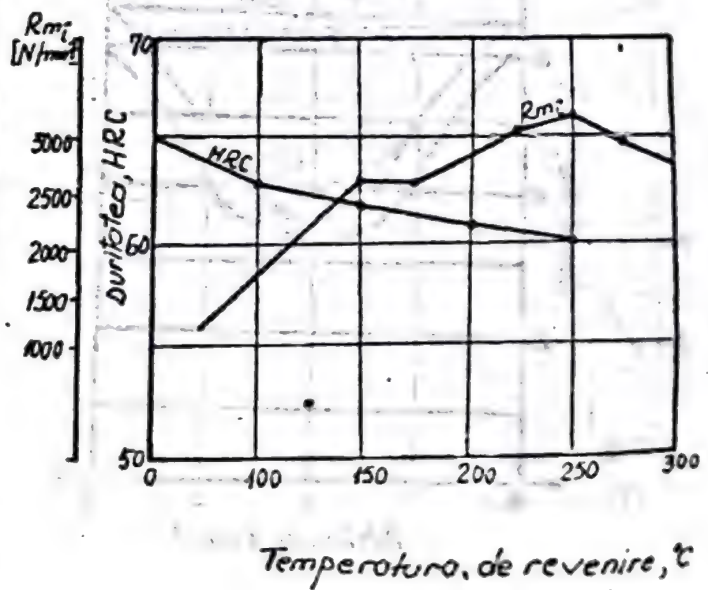
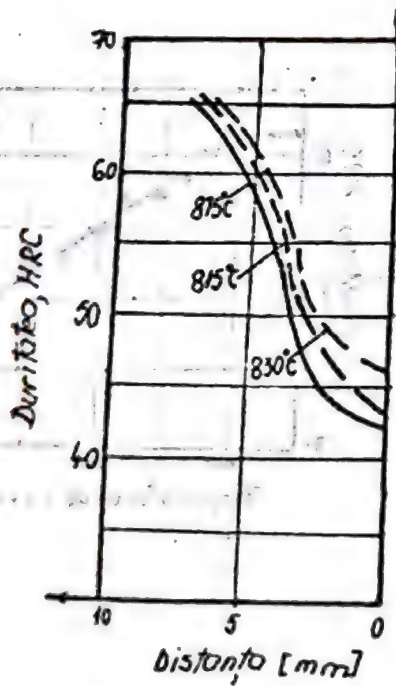
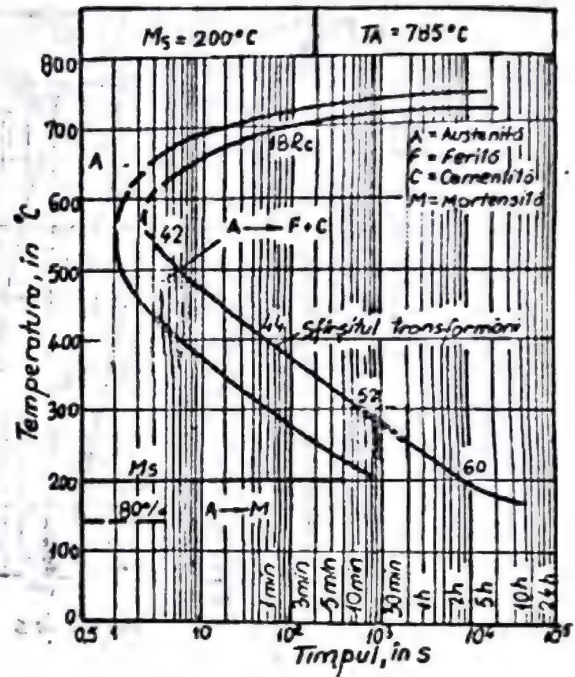
C	Si	Mn	Cr	Ni
0,76	0,22	0,29	0,11	0,07
Recoacere		Călire		Rez.
TC°C]	Mediu	TC°C]	Mediu	TC°C]
680-720	cuptor	780-800	upd	150-300





# OSC 11 STAS 1700-80

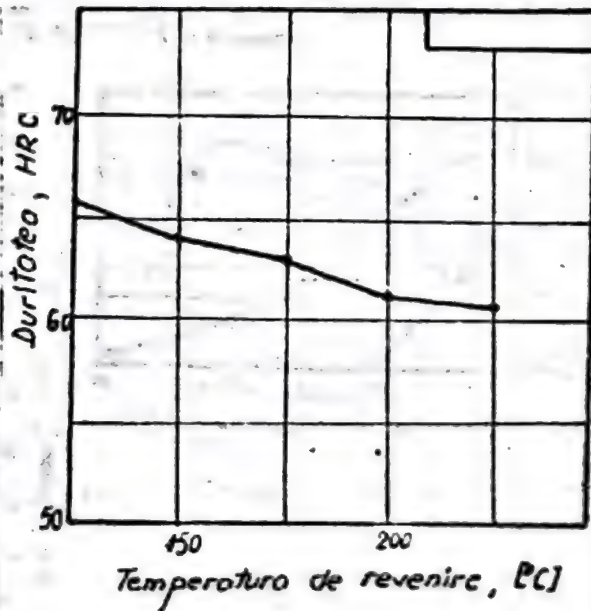
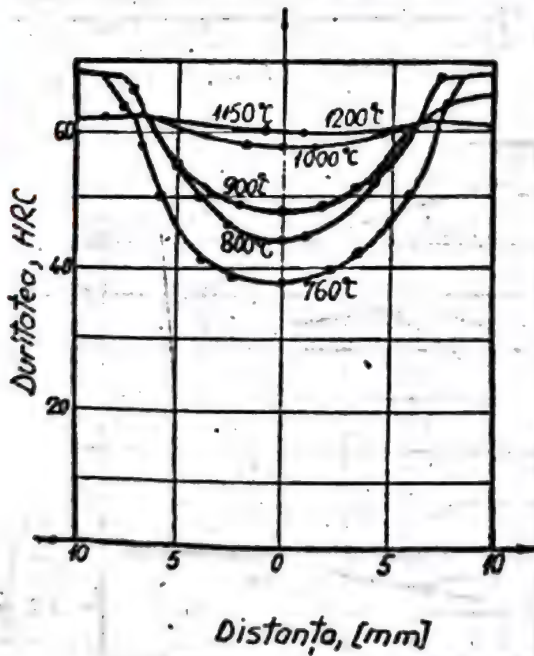
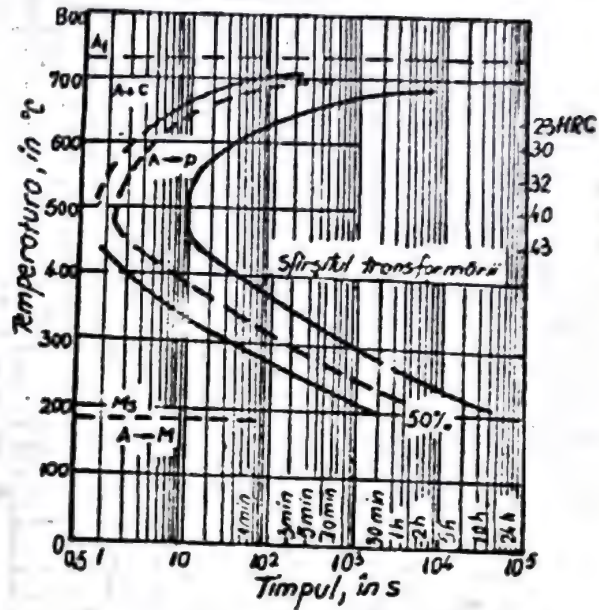
	C	Si	Mn	
	1,14	0,16	0,22	
	Reccocare		Căline	
TC°C]	Mediu	TC°C]	Mediu	Rev.
680-720	cuptor	760-780	apă	150-300





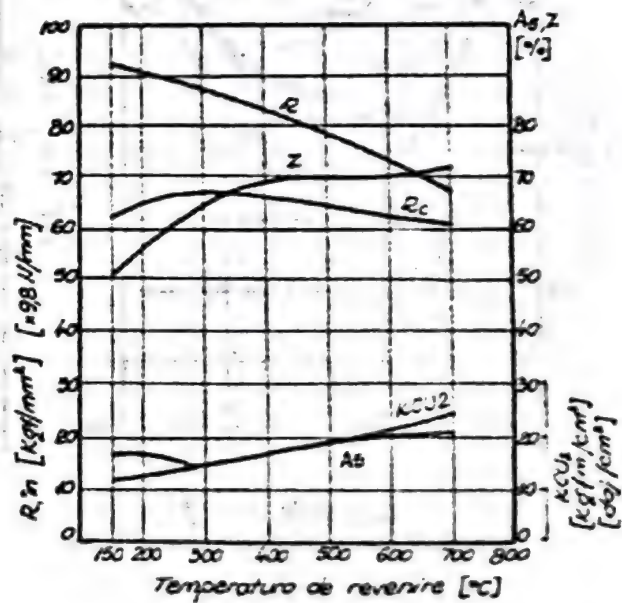
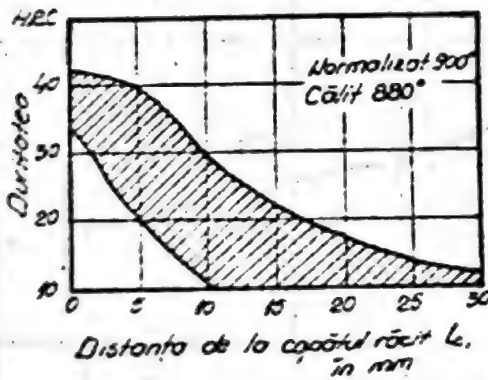
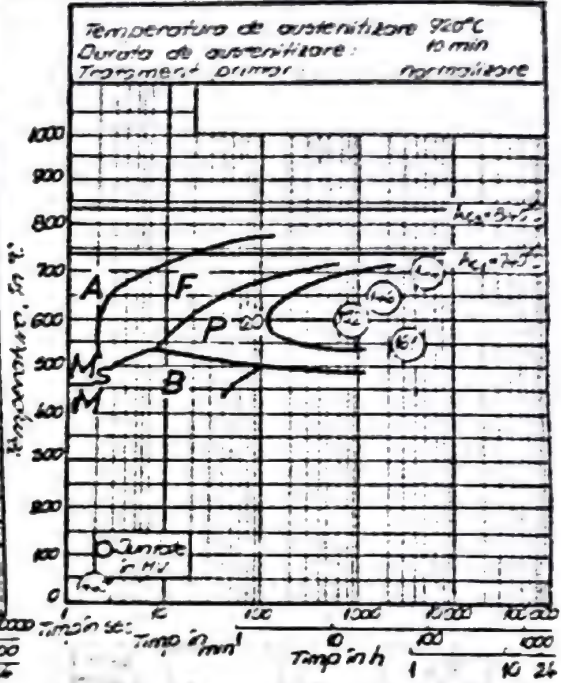
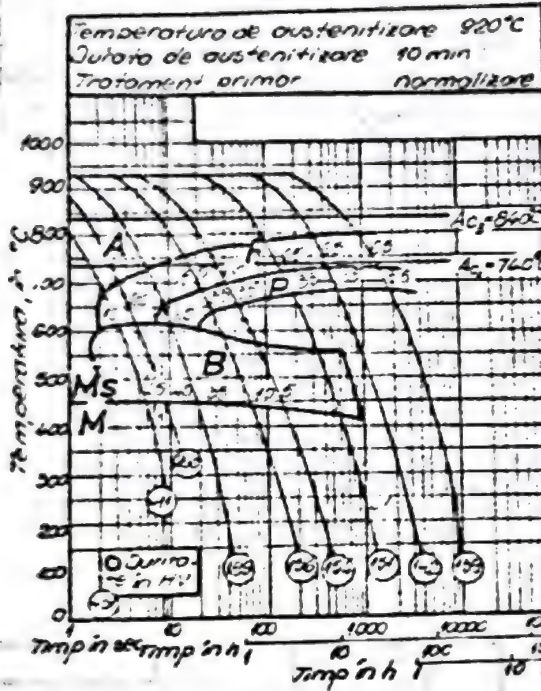
# OSC13 STAS 1700-80

C	Si	Mn	Cr	Ni
1,29	0,27	0,20	0,04	0,01
Recoocere		Calire		Re:
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
680-720	cup- tor	760-780	950	130-400



# 15Cr08 STAS 791-80

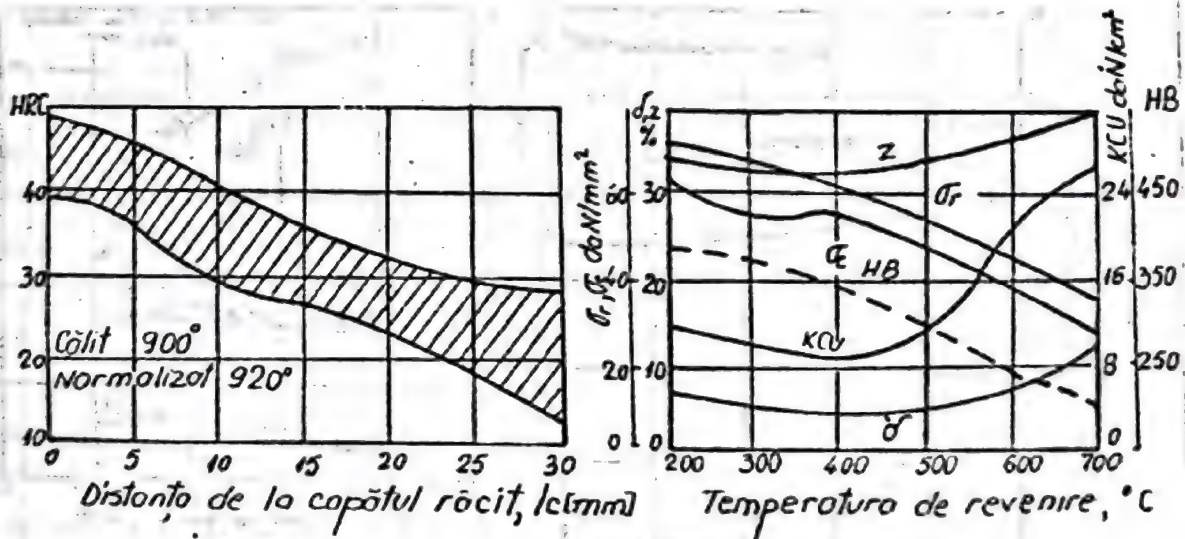
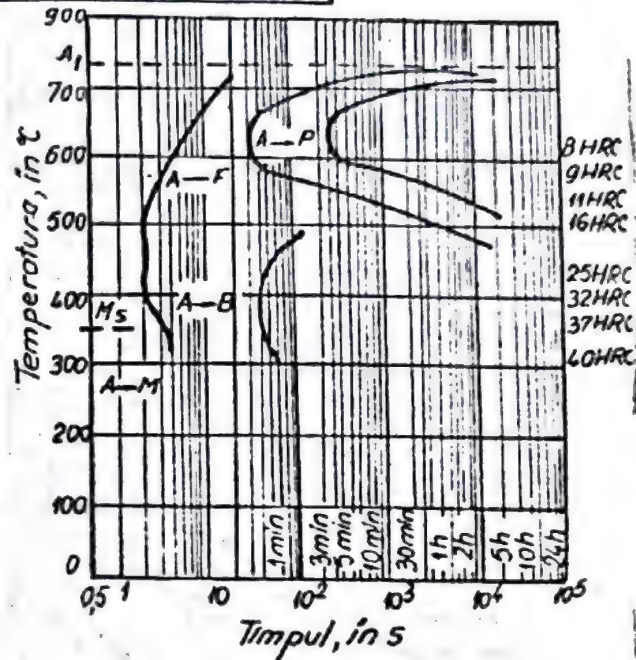
C	Si	Mn	Cr	
0.15	0.25	0.50	0.65	
Recoacere		Calire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
690-720	super	870	uier	170





# 21TiMnCr12 STAS 791-80

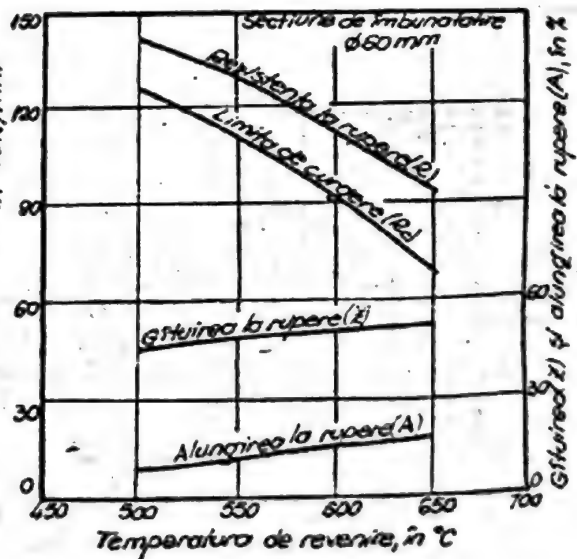
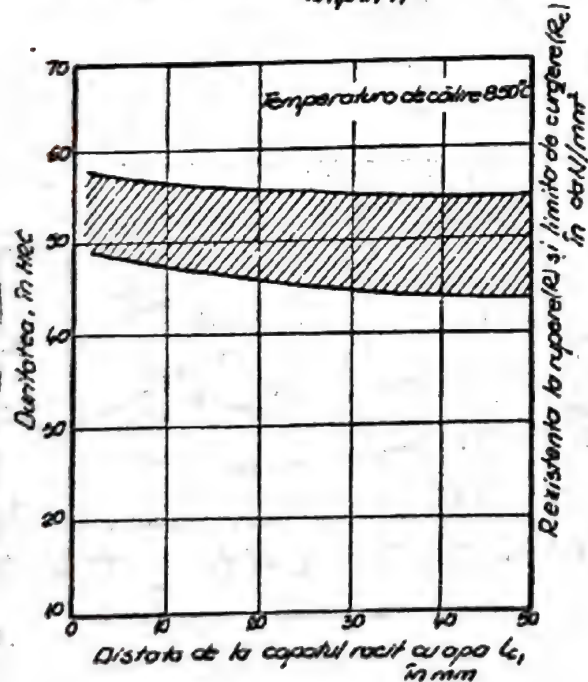
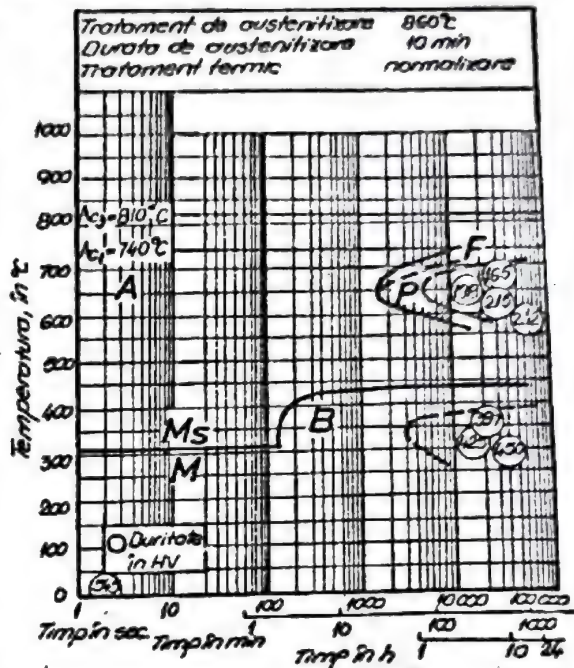
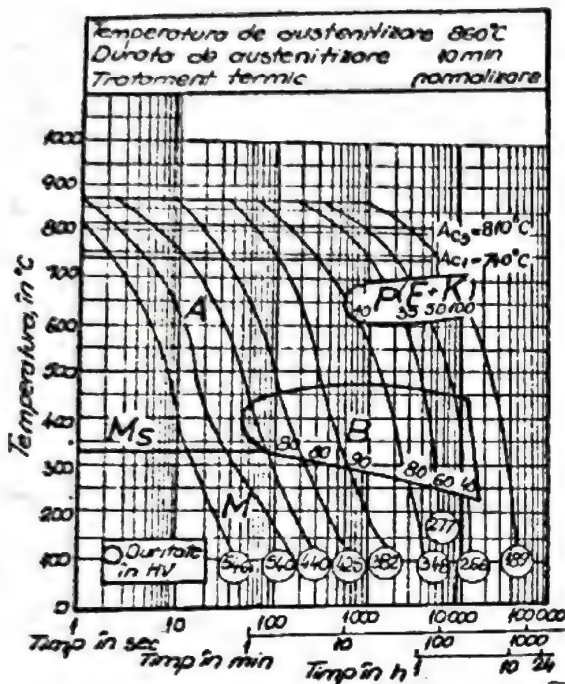
C	Si	Mn	Cr	Ti
In limitele marci				
Recoacere		Călire		Rev
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
650-700	cuptor	800	ubi	200





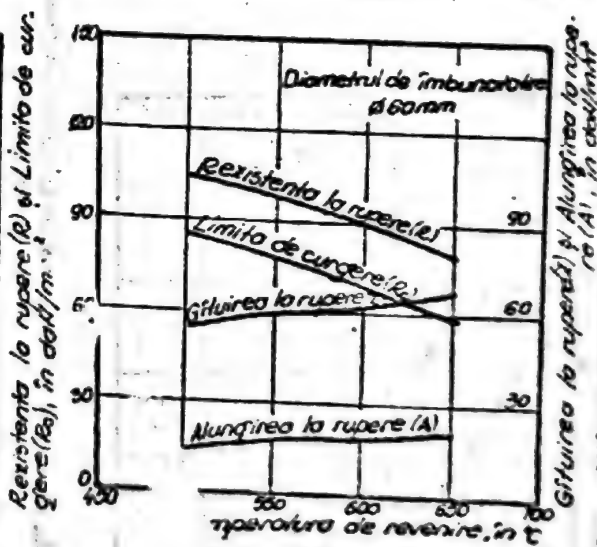
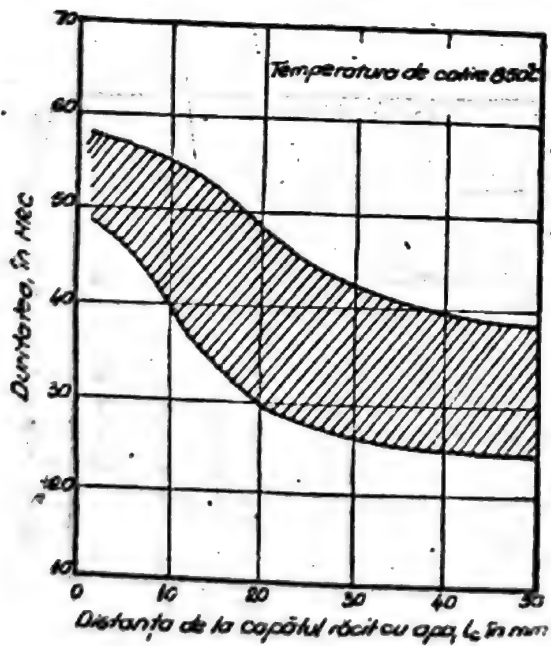
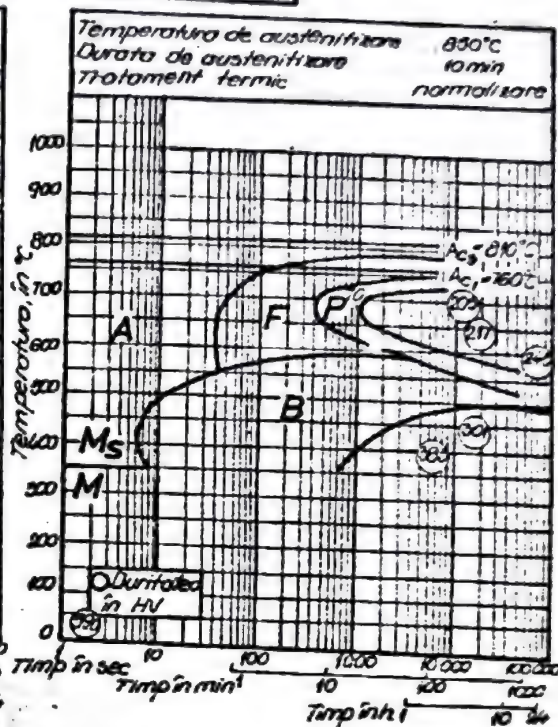
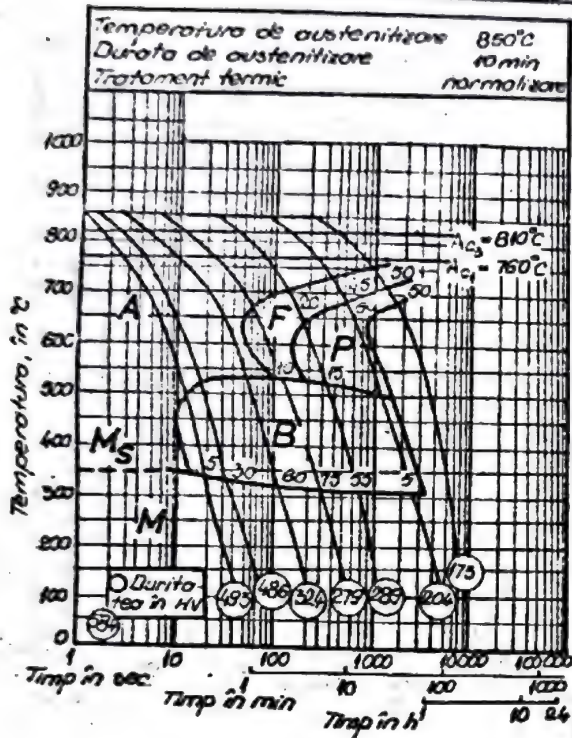
# 30MnCrNi20 STAS 791-80

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
0,30	0,25	0,45	2,0	0,4	2,0
Recoacere			Călire		Rev.
T <sup>°</sup> C]		Mediu	T <sup>°</sup> C]		Mediu
650-700		cuptor	850		ultr
					560



# 33MoCr11 STAS-791-80

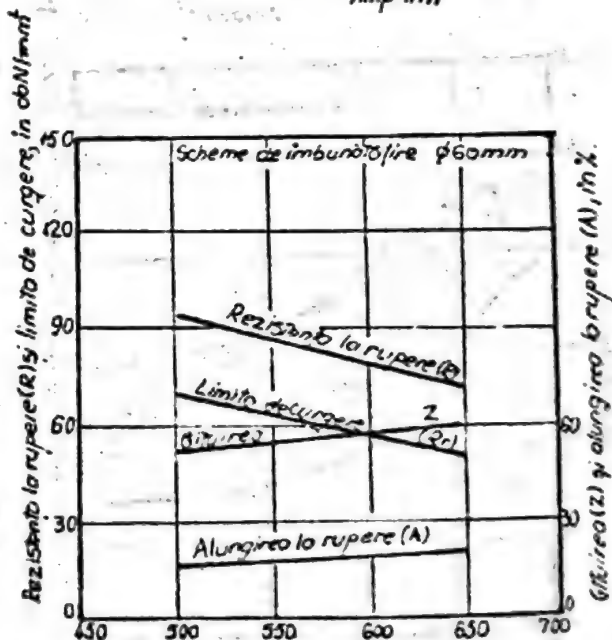
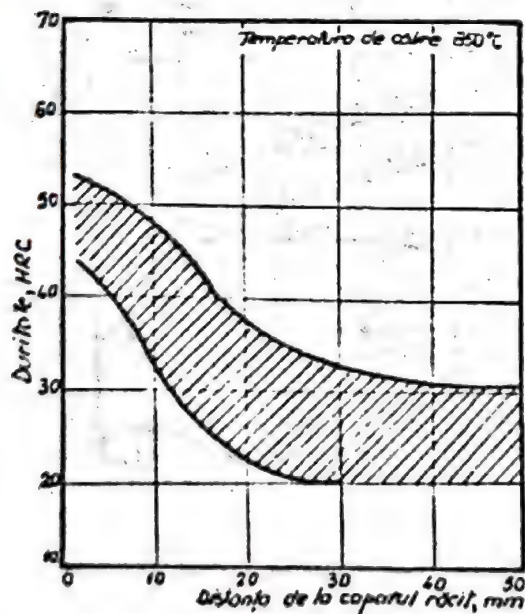
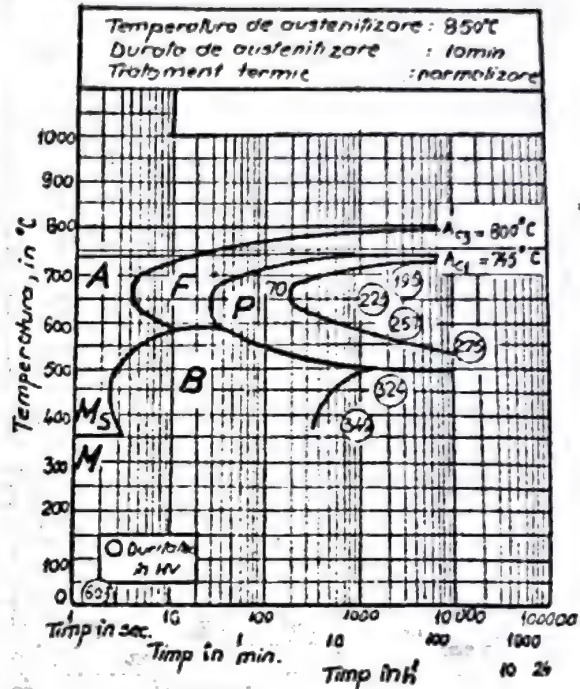
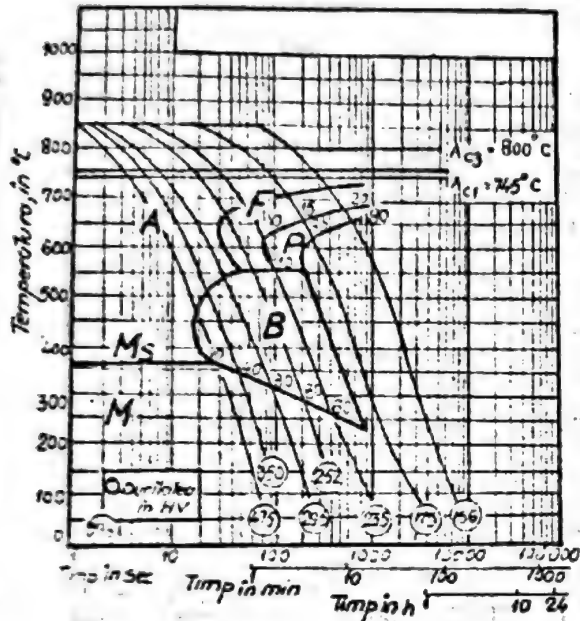
C	Si	Mn	Cr	Mo
0,55	0,25	0,65	1,15	0,25
Reconecere		Călire		Rev
TL°C]	Mediu	TL°C]	Mediu	TL°C]
600-640	cuptor	850	ulei	580





# 35Cr10 STAS 791-80

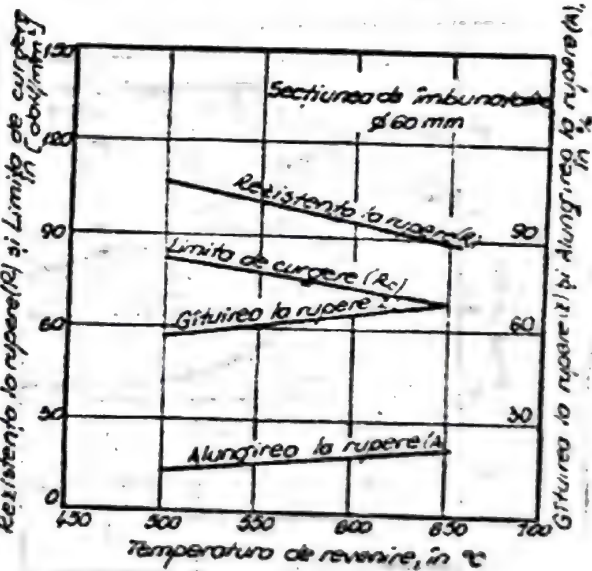
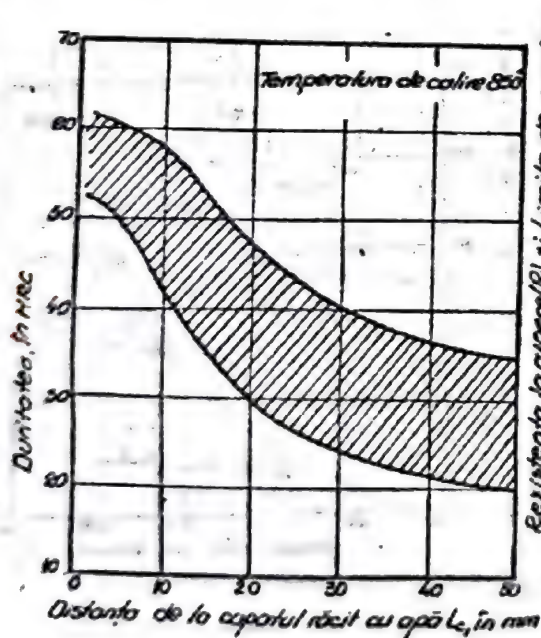
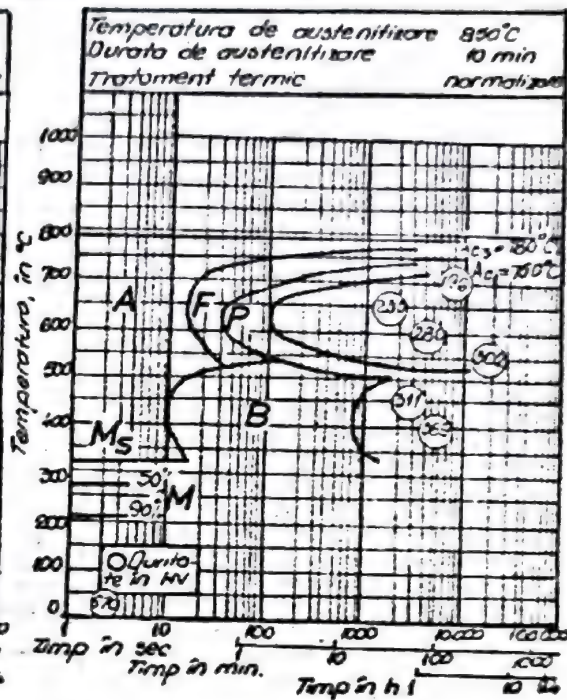
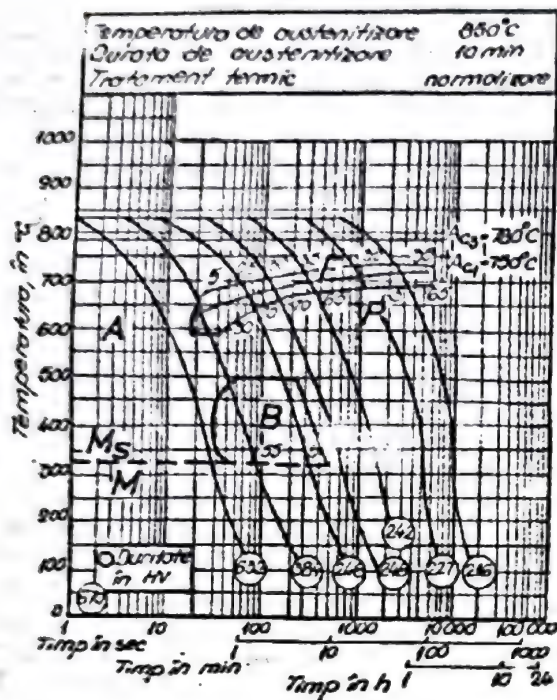
C	Si	Mn	Cr	
0.34	0.25	0.3	1.05	
Recoacere		Calire		Rev.
T°C]	Mediu	T°C]	Mediu	T°C]
680 - 710		850		500





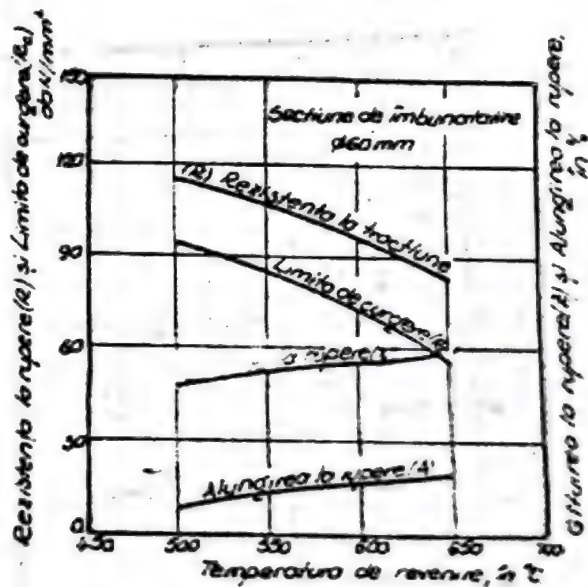
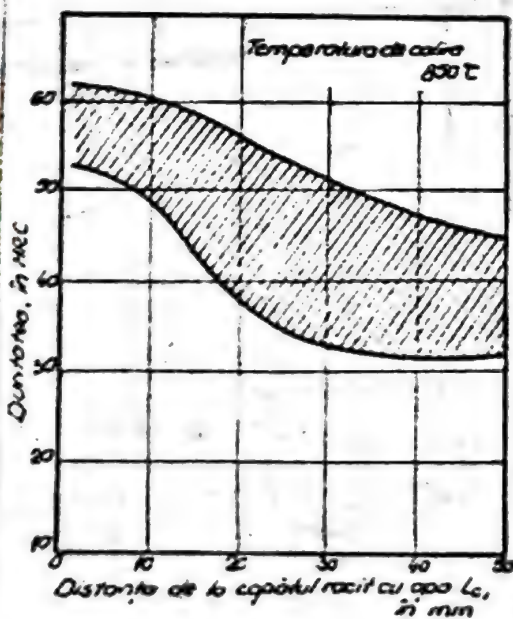
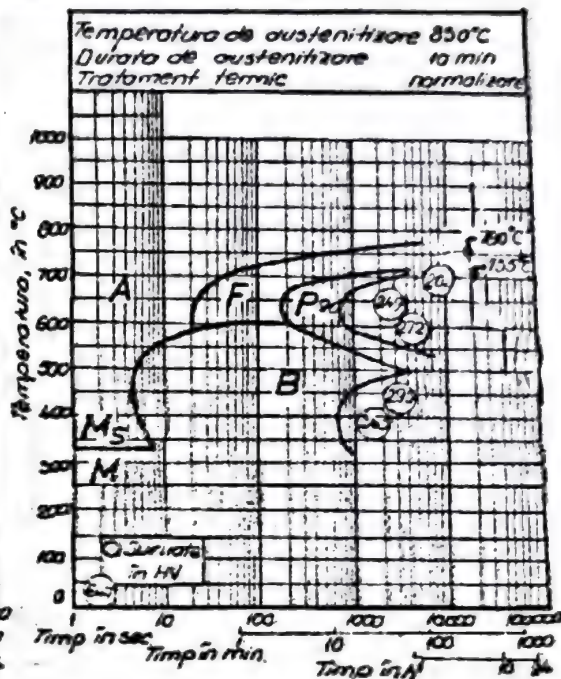
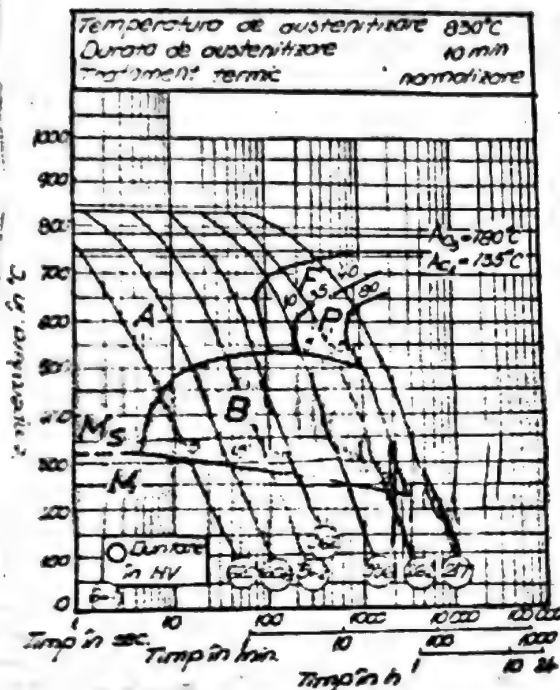
# 40Cr10 STAS 791-80

C	Si	Mn	Cr
0,4	0,25	0,65	1,05
Recoocere		Călire	
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu
680-720	cuptor	840	ulei
		Rev	
		T[°C]	
		550	



# 41MoCr11 STAS 791-80

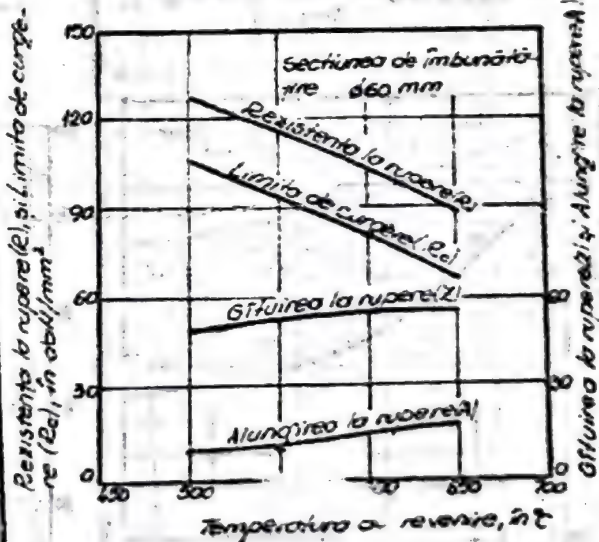
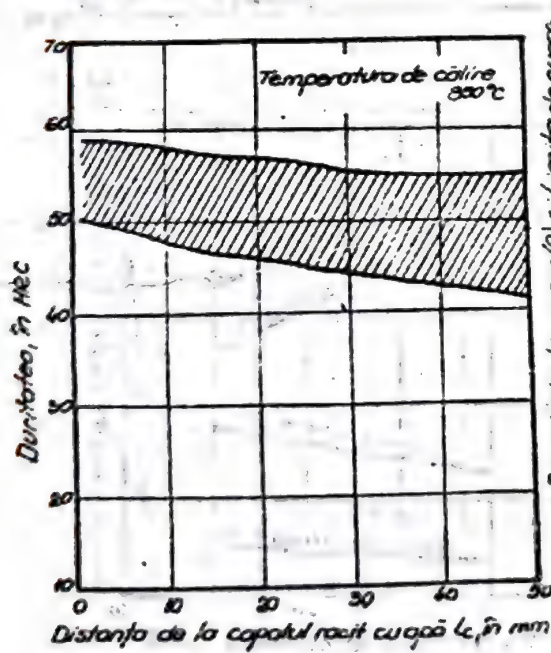
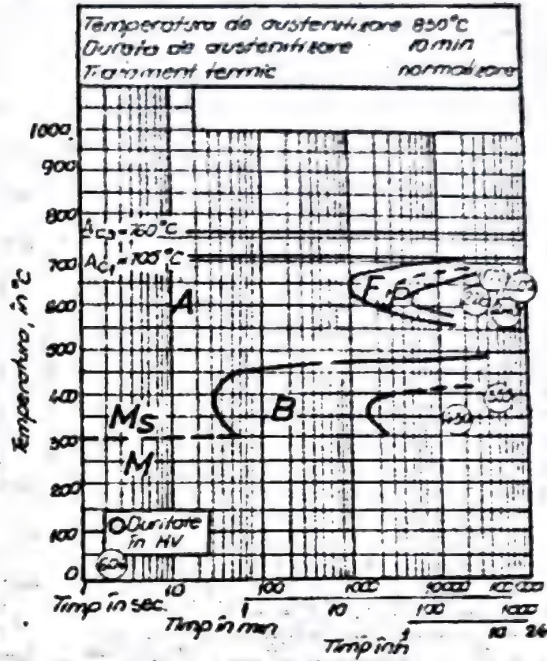
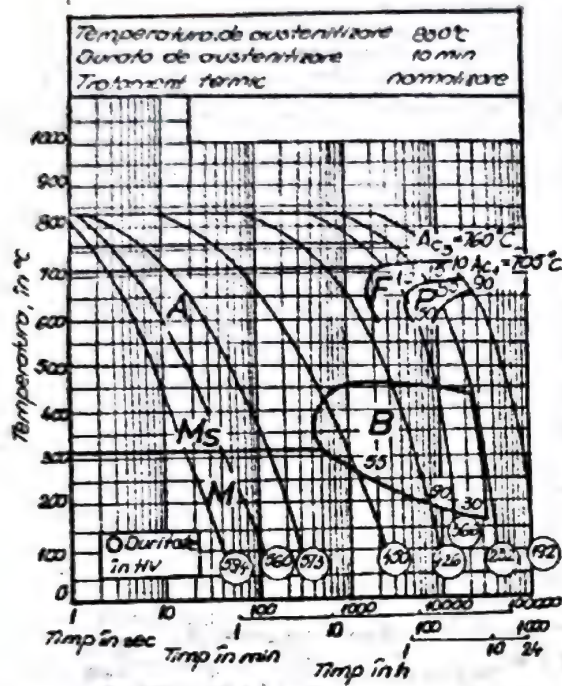
C	S	Mn	Cr	Mo
0.42	0.25	0.63	1.05	0.25
Recoar		Calire		Rev
TC°C]	Mediu	TC°C]	Mediu	TC°C]
700-730	cupar	840	ulei	580





# 34MoCrNi15 STAS 791-80

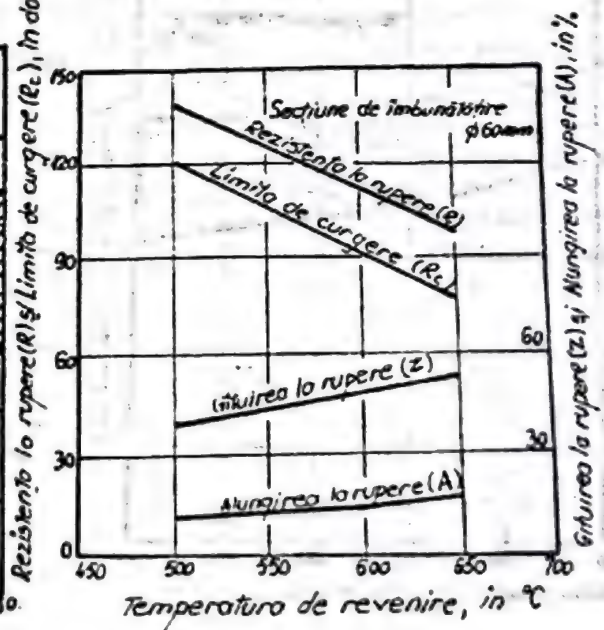
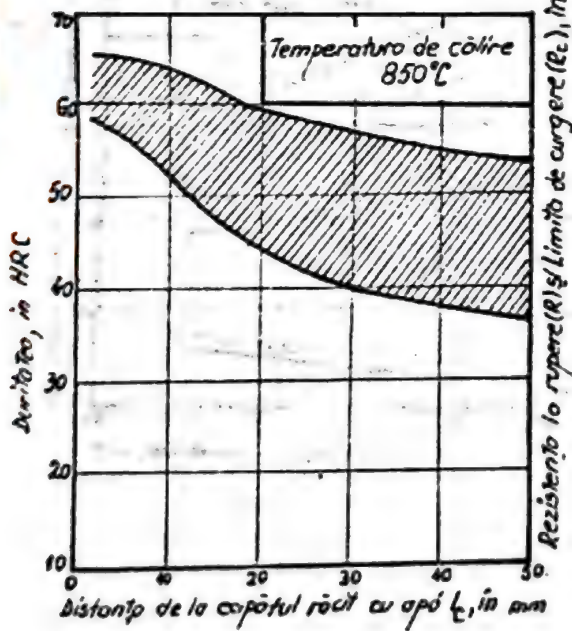
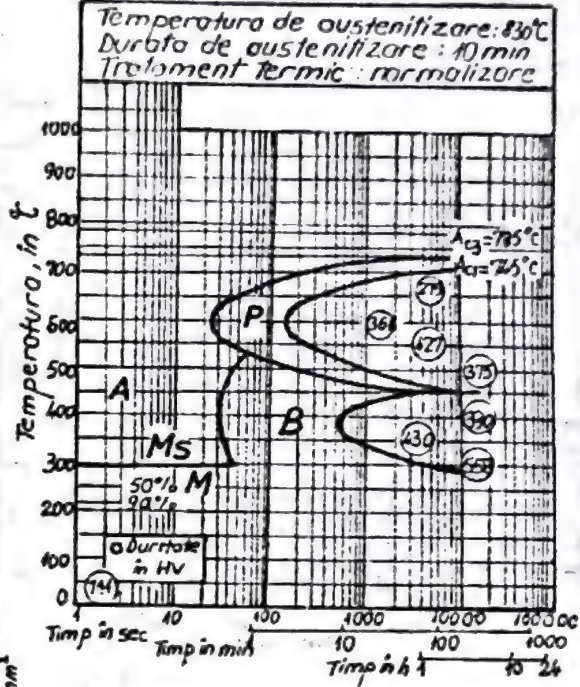
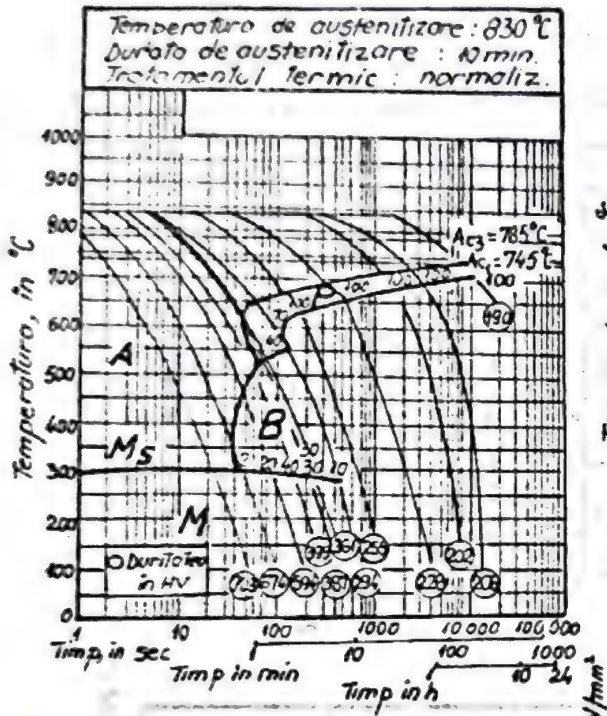
C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
0.34	0.25	0.53	1.55	0.2	0.55
Recuocare			Călire		Rev
T[°C]		Mediu	T[°C]		Mediu
650-700		cuptor	850		ulei
					560





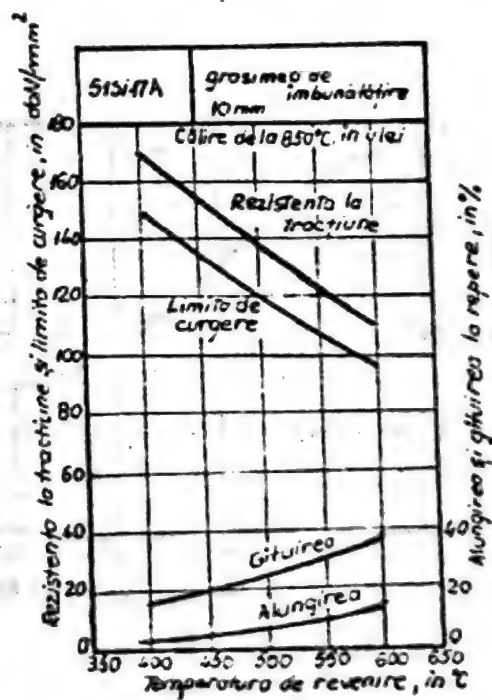
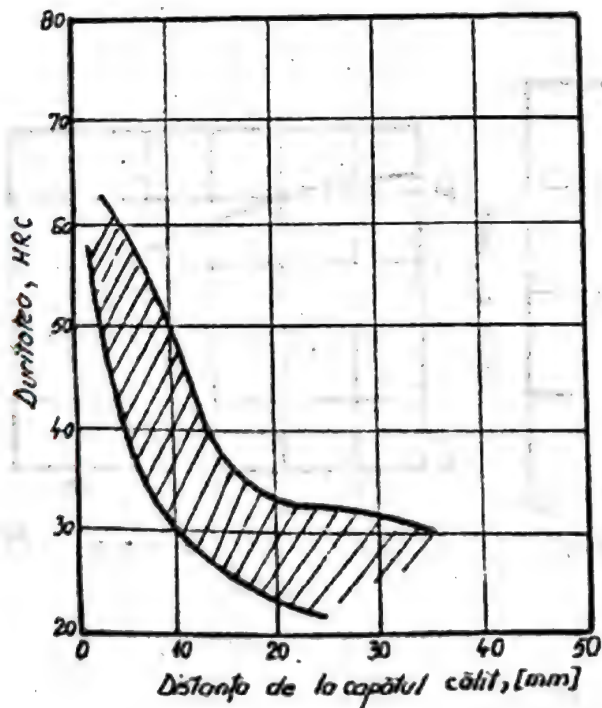
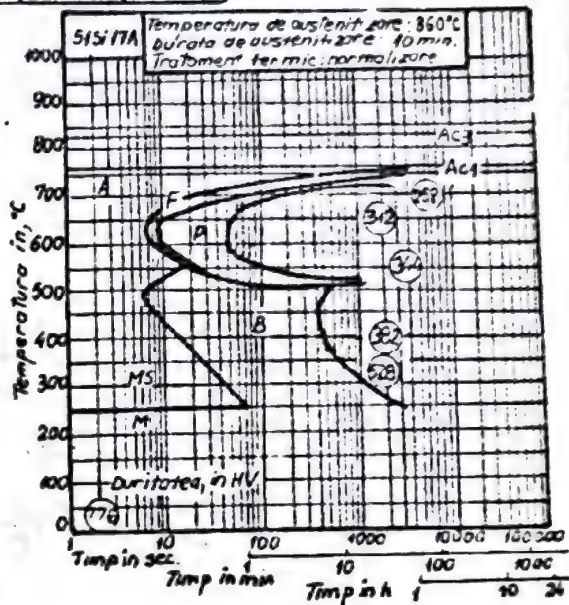
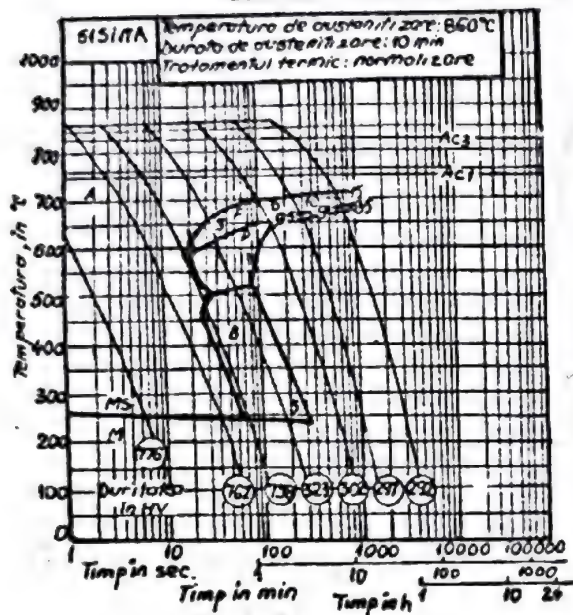
# 50VCr11A STAS 791-80

C	Si	Mn	Cr	
0.5	0.25	0.9	1.05	
Recoacere		Călire		Rev.
T <sup>°C</sup>	Mediu	T <sup>°C</sup>	Mediu	T <sup>°C</sup>
690-720	cuptor	865	ultr	600



# 51Si17A STAS 795-80

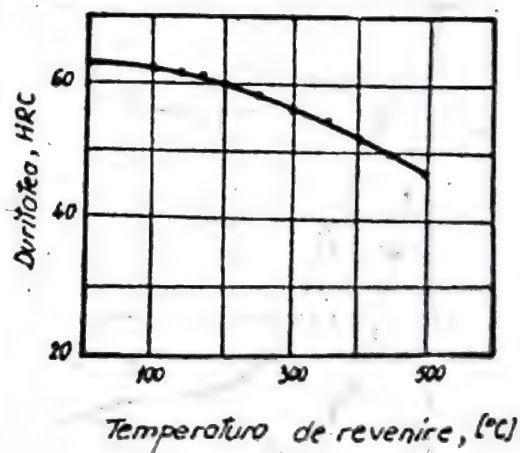
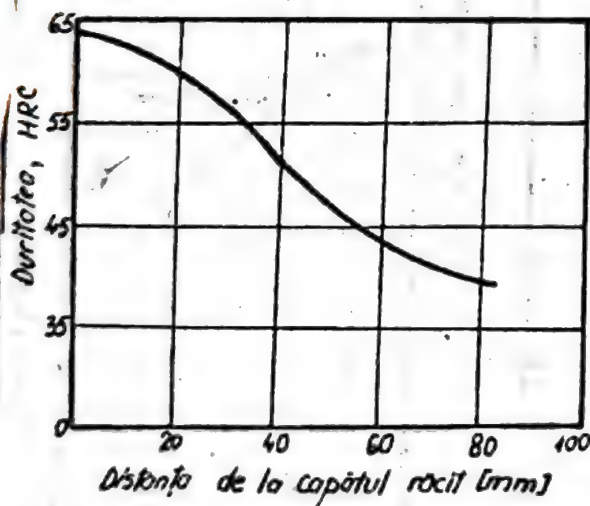
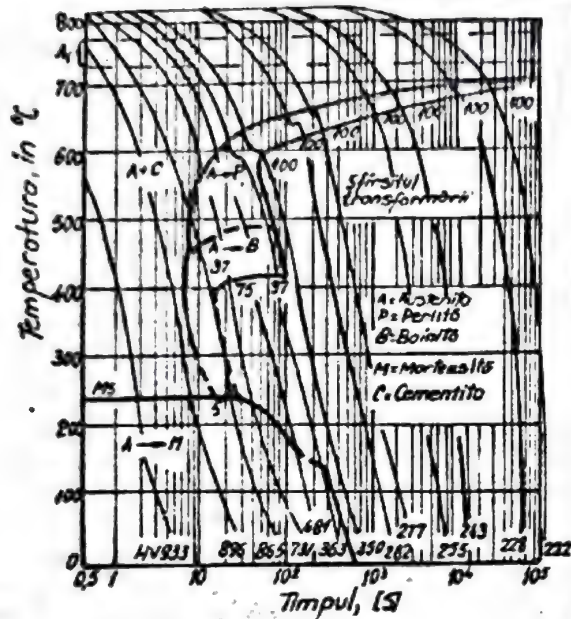
	C	Si	Mn	
	0,5	1,65	0,65	
	Recoacere		Calire	
TC°C]	Mediu		TC°C]	Mediu
700-720	cuplor		860-880	ulei
			REV.	TC°C]
				430-490





# 97MnCrW14 STAS 3611-80

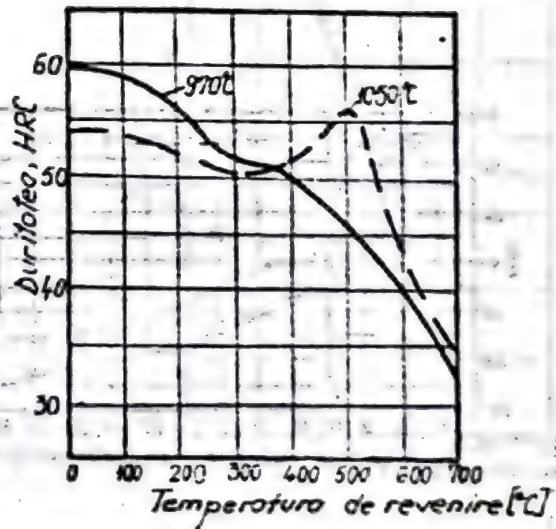
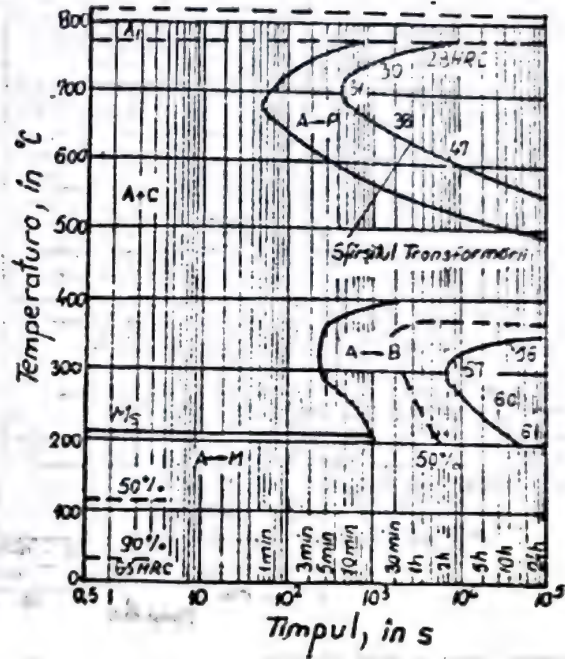
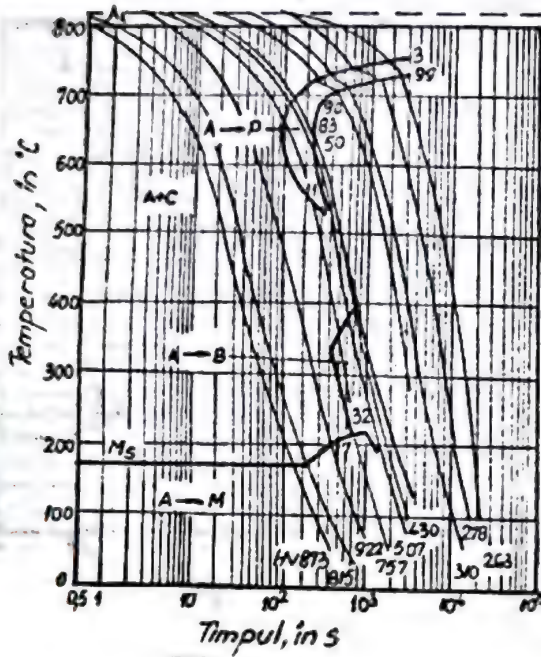
C	Si	Mn	Cr	Ni	W
1,03	0,28	0,97	1,05	0,13	1,15
Recoocere			Călire		Rev.
T[°C]		Mediu	T[°C]		Mediu
770-790		supor	800-830		ulei
					160-220





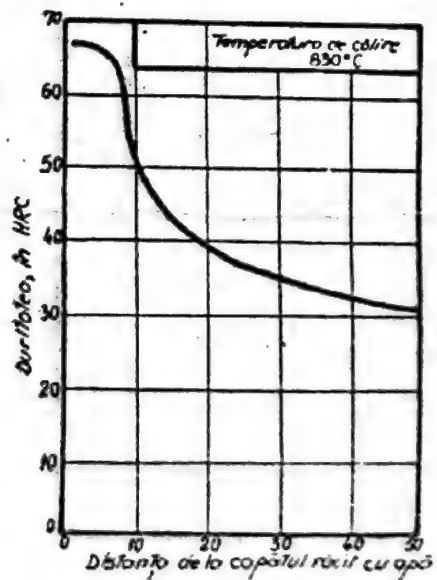
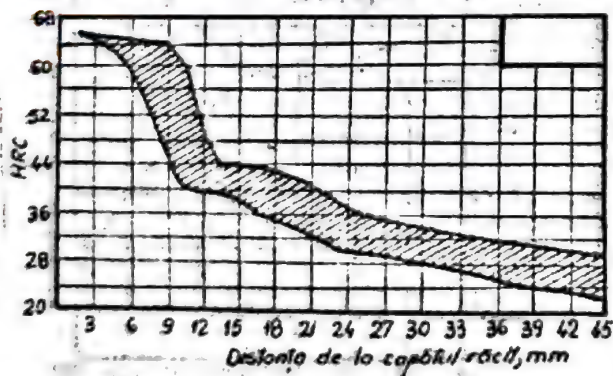
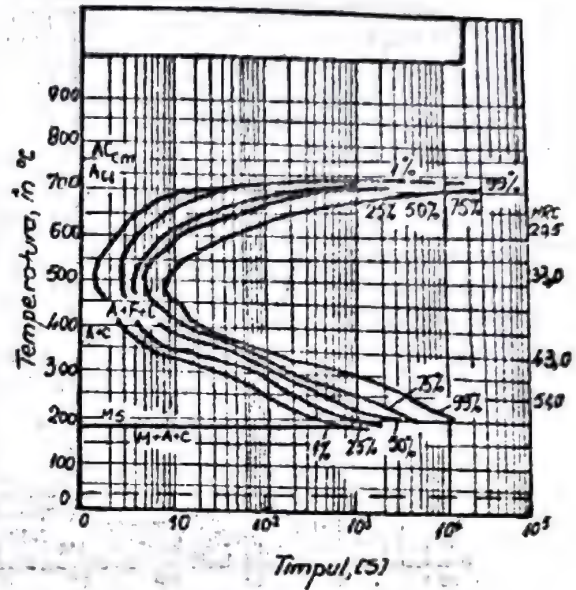
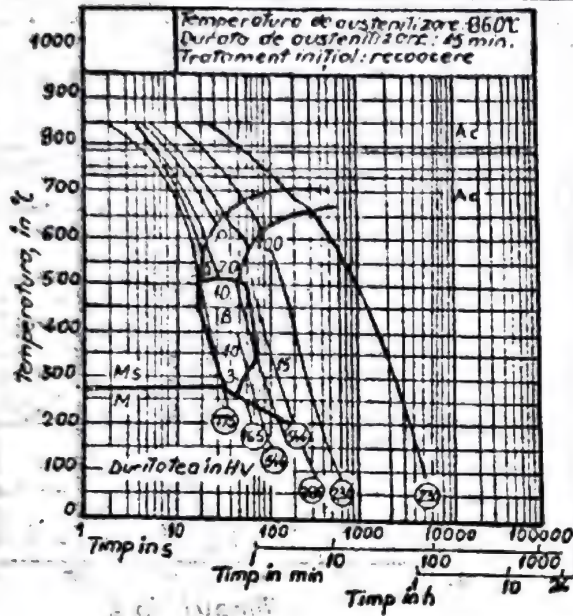
# 200Cr120 STAS 3611-80

C	Si	Mn	Cr	Ni
1,76	0,41	0,28	12,18	0,21
Recoocere		Calire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
810-840	cuptor	930-950	ulei	810-230



# RUL 1 STAS 1456-80

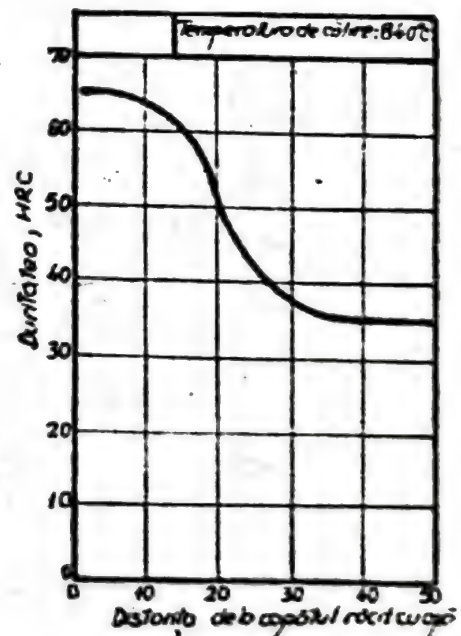
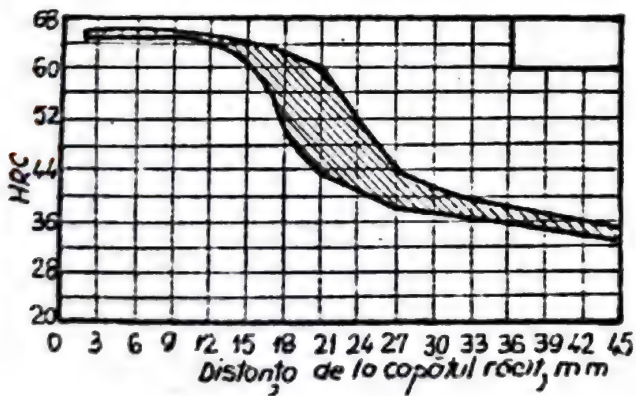
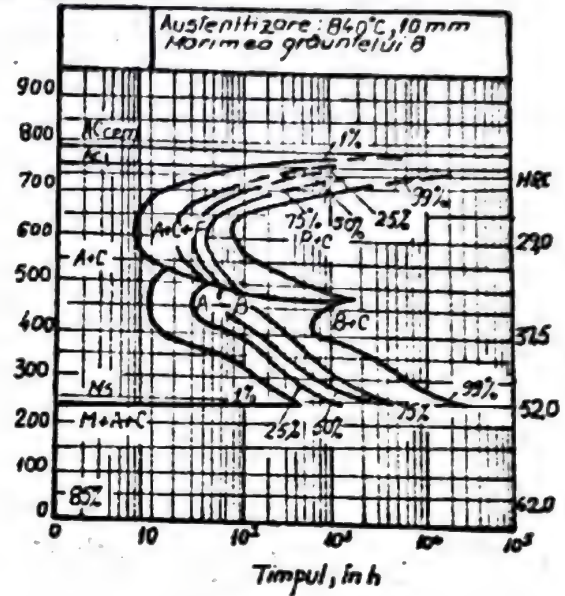
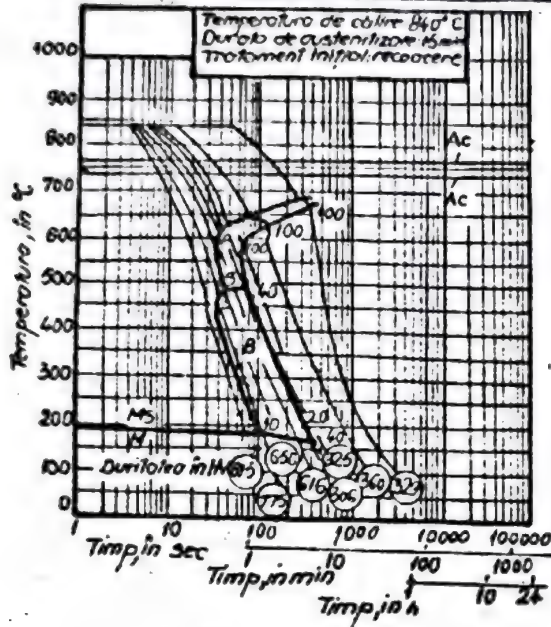
C		Si		REV.
1,0		1,5		
Recoocere		Calire		REV.
T(°C)	Mediu	T(°C)	Mediu	
750-810	cutor	810-850	uter	
				180





**RUL 2 STAS 1456-80**

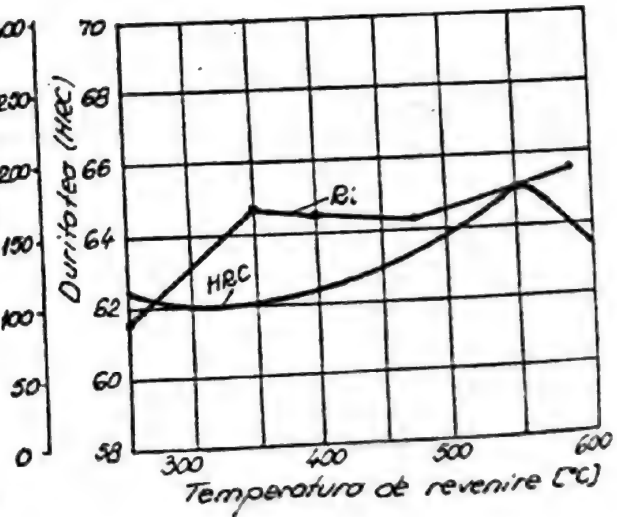
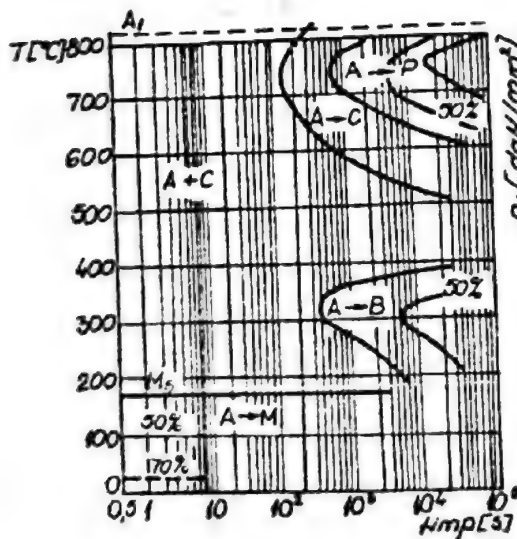
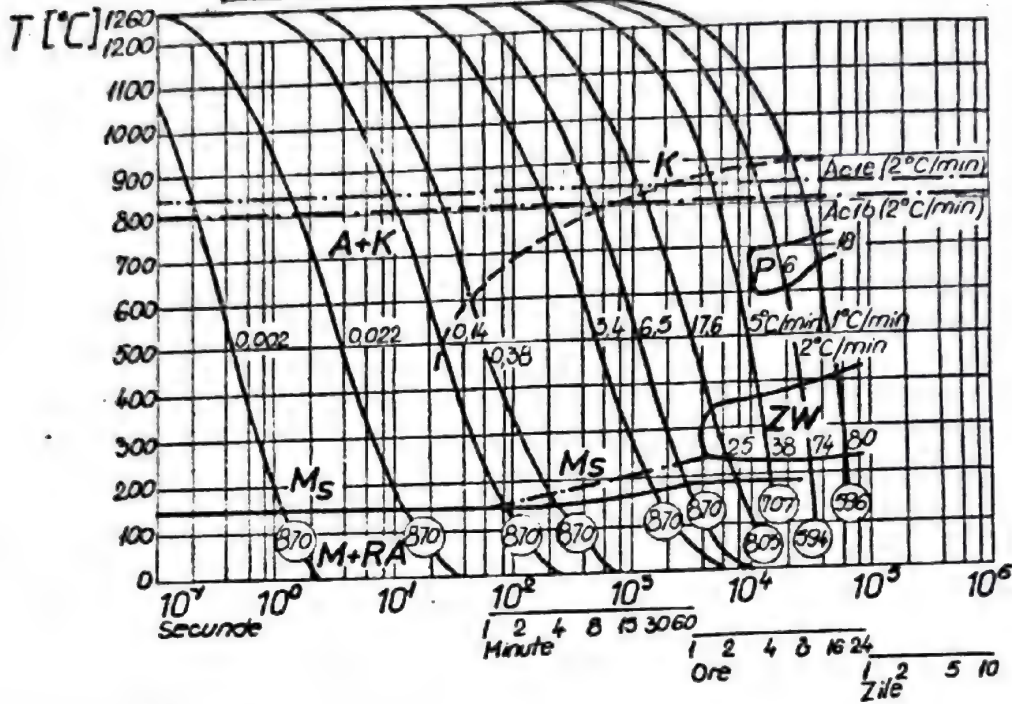
C		Si		Mn	
1,0		1,5		1,1	
Recoacere			Calire		Rev.
TC°C]	Mediu		TC°C]	Mediu	TC°C]
960-910	cuator		800-740	utai	180





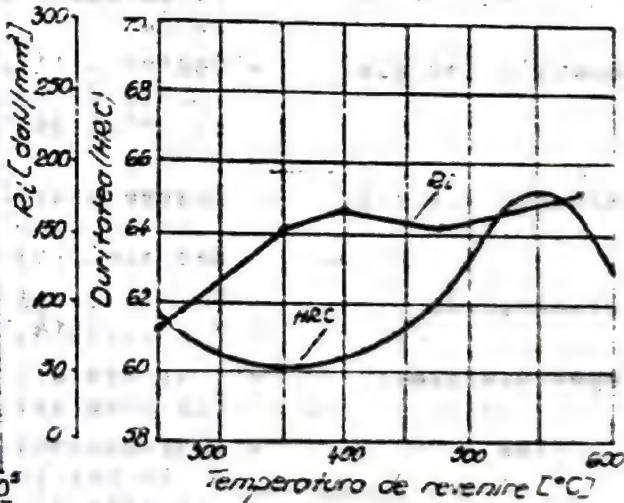
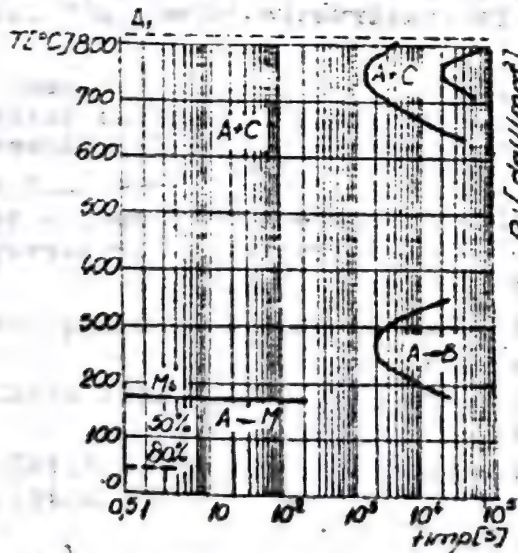
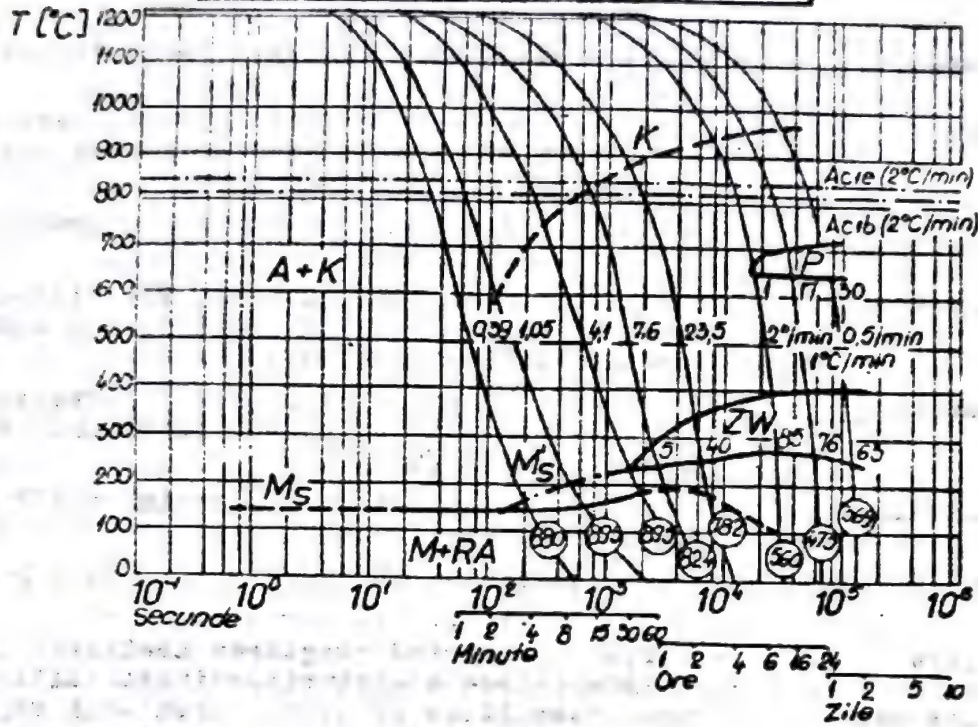
# Rp3 STAS 7382-80

C	Mn	Si	Cr	Mo	V	W	S	P
0,75	mor	0,20	3,8	4,8	4,7	6,0	mor	1,0x
Recoocere				Călire			REV.	
T [°C]		Mediu		T [°C]		Mediu	T [°C]	
800-850		cupator		1250-1300		ulei	560-580	



# Rp5 STAS 7382-80

C	Mn	Si	Cr	Mo	V	W	S	P
0,70	max	0,20	3,6	max	1,0	17,5	max	max
Recoocere				Călire			Rev	
T(°C)				T(°C)			T(°C)	
800-850				1190-1230			540-570	





# BIBLIOGRAFIE

1. Alexandru, Ioan - Aportul tratamentelor termice la temperaturi negative asupra redistribuirii elementelor de aliere între matrice și faza carburică în oțelul rapid Rp5. Buletin științific Suceava, 1984.
2. Carțig, Ioan - Tratamente termice. Editura Facla Timișoara 1982.
3. Constantin, G. - Progrese în știință și tehnologie. Reducerea tensiunii și stabilizarea metalelor prin vibrații. INID București, 1978.
4. Karl-Erik Telning - Steel and its Heat Treatment, Butterworths 1981.
5. Kiriacescu, R. - Procedeu Martin Engineering VSR, pentru reducerea tensiunilor și stabilizarea dimensională. OID București, 1979. Nr. 79.
6. Kiriacescu, R. - Reducerea tensiunilor ușoare interne și stabilizarea metalelor prin vibrații. OID București, 1979, Nr. 79.
7. Dulămiță, F. Florean, E. - Tratamente termice și termochimice. EDP București, 1982.
8. Hildegard, Protopopescu - Metalografie și tratamente termice. EDP București 1983.
9. Hopulele, Ion.  
Alexandru, Ioan.  
Gălușcă, Dan Gelu - Cercetări privind creșterea prelucrabilității prin aşchiere a ştelurilor inoxidabile ferito-martensitice prin aplicarea unui regim de tratament termic. In Vol. IV "Creația tehnico-științifică în Construcția de mașini", Iași 1983.
10. Hopulele, Ion. ș.a. - Contribuții privind optimizarea tratamentului termic de detensionare a unor piese turnate din oțel carbon. Buletin științific, Suceava 1984.
11. Macherauch, E. ș.a. - Despre dezvoltarea concepțiilor despre tensiunile interne și definițiile lor corespunzătoare. ODPT București, 1973, Nr. 3.
12. Novikov, I. I. - Teoria termicescui obrabotki metalov. Moscova Metalurgia, 1978.
13. Popescu, M. ș.a. - Tratamente termice și prelucrări la cald. EDP București, 1983.
14. Schultze, R. - Phasenumwandlungen im festen Zustand. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1973.
15. Vasileoiu, Aneta - Metoda metalografică de dozare a austenitei reziduale. OID București, 1979, Nr. 94.
16. x x x - Normative unificate pe economie pentru lucrări de tratamente termice primare și secundare. ICPYSC - MICM, București, 1976.



# - C U P R I N S -

Cap.V. Tratamentul termic al oțelurilor aliate.....	1
5.1. Influența elementelor de aliere asupra tratamen- tului termic .....	1
5.1.1. Influența elementelor de aliere asupra omogenită- ții austenitei.....	2
5.1.2. Influența elementelor de aliere asupra transfor- mării austenitei la răcire.....	3
5.1.3. Influența elementelor de aliere asupra călibili- tății oțelurilor.....	4
5.1.4. Influența elementelor de aliere asupra transfor- mărilor ce au loc la revenirea oțelurilor.....	5
5.2. Particularitățile tratamentelor termice aplicate oțelurilor aliate.....	6
5.2.1. Tratamentele termice ale oțelurilor aliate cu mangan.....	8
5.2.2. Tratamentele termice ale oțelurilor aliate cu crom.....	9
5.2.3. Tratamentele termice ale oțelurilor aliate cu siliciu.....	11
5.2.4. Tratamentele termice ale oțelurilor aliate cu nichel.....	12
5.2.5. Tratamentele termice ale oțelurilor aliate cu wolfram.....	13
5.2.6. tratamentele termice ale oțelurilor aliate cu molibden.....	14
5.2.7. Tratamentele termice ale oțelurilor aliate cu vanadiu.....	15
5.2.8. Tratamentele termice ale oțelurilor aliate cu crom și nichel.....	16
Cap.VI. Tratamentele termice și termochimice ale fontelor..	18
6.1. Tratamente termice aplicate fontelor.....	18
6.1.1. Recoacerea de detensionare a fontelor.....	19
6.1.2. Recoacerea de înmuiere.....	21
6.1.3. Normalizarea.....	22
6.1.4. Recoacerea de maleabilizare.....	24
6.1.5. Călirea fontelor.....	27
6.1.6. Revenirea fontelor.....	30
6.2. Tratamente termochimice aplicate fontelor.....	31
6.2.1. Nitrurarea fontelor.....	31
6.2.2. Cromizarea fontelor.....	32
6.2.3. Silicizarea fontelor.....	32
6.2.4. Aluminizarea fontelor.....	32
Cap.VII. Tratamentele termice ale aliajelor neferoase....	34
7.1. Recoacerea aliajelor neferoase.....	34
7.1.1. Recoacerea de omogenizare a aliajelor neferoase...	35
7.1.2. Recoacerea de recristalizare a aliajelor neferoase..	37
7.1.3. Recoacerea de detensionare a aliajelor neferoase..	40
7.2. Călirea aliajelor neferoase.....	41
7.2.1. Călirea de tip martensitic a aliajelor neferoase..	41
7.2.2. Călirea de punere în soluție a aliajelor neferoase	43
7.3. Revenirea și îmbătrânirea aliajelor neferoase.....	46



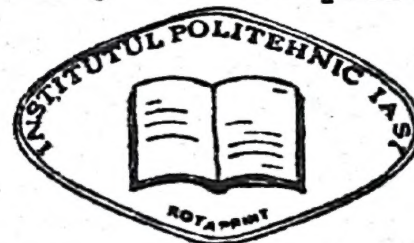
Cap.VII. Tehnologii specifice de tratament termic și termochimic aplicate sculelor și pieselor în construcția de mașini.....	49
8.1. Tratamente termice și termochimice aplicate sculelor.....	49
8.1.1. Tratamente termice aplicate oțelurilor pentru scule așchietoare.....	50
8.1.2. Tratamente termice aplicate oțelurilor pentru scule de deformare plastică.....	65
8.1.3. Tratamente termice aplicate oțelurilor pentru scule de măsurat și verificat.....	71
8.1.4. Tratamente termochimice aplicate sculelor.....	74
8.2. Tehnologii de tratament termic și termochimic aplicate organelor de mașini.....	78
8.2.1. Tratamentul termic al rulmenților.....	79
8.2.2. Tratamentul termic al arcurilor.....	82
8.2.3. Tratamentul termic al arborilor drepți.....	86
8.2.4. Tratamentul termic și termochimic al roților dințate.....	89
8.2.5. Tratamente termice și termochimice aplicate arborilor cotiți.....	99
8.2.6. Tratamente termice și termochimice aplicate axelor cu came.....	104
8.2.7. Tratamente termice aplicate batiurilor.....	109
8.2.8. Tratamente termice aplicate segmentilor pentru pistoane.....	113
8.2.9. Tratamente termice și termochimice aplicate cămășilor de cilindri.....	114
8.2.10. Tratamente termice aplicate cusăturilor sudate.....	116
8.3. Tehnologii de tratament termic aplicate semifabricatelor.....	144
8.3.1. Tratamente termice aplicate semifabricatelor obținute prin turnare.....	144
8.3.2. Tratamente termice aplicate semifabricatelor forjate.....	161
8.3.3. Tratamente termice aplicate semifabricatelor obținute prin deformare plastică la rece.....	178
8.3.4. Tehnologii de tratament termic aplicate pieselor din oțeluri inoxidabile.....	184
Cap.IX. Controlul tehnic de calitate al produselor tratate termic și termochimic.....	196
9.1. Controlul materialelor și produselor înainte de tratament termic.....	197
9.1.1. Controlul compoziției chimice.....	198
9.1.2. Controlul defectoscopic.....	204
9.1.3. Controlul structurii inițiale.....	206
9.1.4. Aspectul exterior.....	207
9.2. Controlul desfășurării procesului tehnologic de tratament termic și termochimic.....	207
9.2.1. Controlul temperaturii.....	207
9.2.2. Controlul timpului.....	210
9.2.3. Defecte produse la încălzire și menținere.....	211
9.2.4. Defecte produse în procesul răcirii.....	214
9.3. Controlul rezultatelor tratamentului termic.....	216
9.3.1. Măsurarea durității.....	216
9.3.2. Controlul structurii după tratament termic.....	220



Cap.X. Normarea tehnică.....	222
10.1. Normarea tehnică.....	222
10.2. Evidența tehnologică.....	225
Cap.XI. Tehnica securității muncii în atelierele de tratamente termice și termochimice.....	228
11.1. Accidente de muncă. Factorii care pot provoca accidente de muncă.....	228
11.1.1. Accidente de muncă specifice atelierelor de tratament termic.....	228
11.1.2. Rolul protecției muncii.....	229
11.1.3. Influența factorilor psihologici.....	229
11.1.4. Imbolnăvirile profesionale.....	229
11.1.5. Oboseala în muncă și combaterea ei.....	230
11.1.6. Măsuri tehnice de igienă.....	231
11.2. Măsuri de protecția muncii.....	232
11.2.1. Condiții generale.....	232
11.2.2. Instalații și utilaje.....	234
Anexe.....	238
Anexa 1. Proprietățile fizice ale metalelor și metaloizilor.....	239
Anexa 2. Proprietățile termofizice ale aliajelor..	241
Anexa 3. Transformările alotropice ale metalelor..	242
Anexa 4. Module de elasticitate longitudinale și transversale pentru metale și aliaje.....	244
Anexa 5. Temperaturi de recristalizare ale unor metale pure.....	245
Anexa 6. Gradul de opacitate pentru diferite metale.....	246
Anexa 7. Punctele critice și compoziția chimică a oțelurilor.....	247
Anexa 8. Coeficienții de difuzie și energii de activare a unor elemente în fier.....	248
Anexa 9. Coeficienții de transmitere a căldurii în săruri topite.....	249
Anexa 10. ....	249
Anexa 11. Durata de transformare pentru unele oțeluri.....	250
Anexa 12. Durata încălzirii și menținerii pieselor din oțel carbon în funcție de grosime....	250
Anexa 13. Valorile punctului de rouă în funcție de conținutul vaporilor de apă în atmosferele controlate.....	251
Anexa 14. Compoziția, caracteristicile de bază și utilizarea atmosferelor gazoase de protecție în tehnologia tratamentelor termice..	252
Anexa 15. Recoacerea de detensionare la produsele din oțel.....	254
Anexa 16. Regimul de detensionare al batiurilor și al pieselor din fontă cenușie.....	255
Anexa 17. Proprietățile mecanice ale oțelurilor și fontelor românești și recomandări de tratamente termice.....	256
Anexa 18. Diagrame de transformare cinetică, benzi de calibilitate și diagrame de variație a proprietăților mecanice cu temperatura de revenire.pentru unele oțeluri românești..	274
Bibliografie .....	298



Bun de tipar 2.03.1985 Comanda 14  
Tiraj 600 exemplare



Institutul politehnic Iași  
B-dul Karl Marx nr.38